



TUGAS AKHIR - RE 141581

**APLIKASI TEKNIK STABILISASI/SOLIDIFIKASI
UNTUK REMEDIASI TIMBUNAN *TAILING*
PENAMBANGAN EMAS RAKYAT
MENGUNAKAN *FLY ASH***

WAHYUNI DWI SUSILOWATI
3312100082

DOSEN PEMBIMBING
Prof.Dr.Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - RE 141581

**APPLICATION OF
STABILIZATION/SOLIDIFICATION TECHNIQUE
TO REMEDIATE TAILING PILES FROM
ARTISANAL GOLD MINING USING FLY ASH**

WAHYUNI DWI SUSILOWATI
3312100082

SUPERVISOR

Prof.Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

APLIKASI TEKNIK STABILISASI/SOLIDIFIKASI UNTUK REMEDIASI TIMBUNAN TAILING PENAMBANGAN EMAS RAKYAT DENGAN MENGGUNAKAN FLY ASH

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana
Pada
Program S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

WAHYUNI DWI SUSILOWATI
NRP 3312100082

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.
NIP. 19530706 198403 2 004



APLIKASI TEKNIK STABILISASI/SOLIDIFIKASI UNTUK REMEDIASI TIMBUNAN *TAILING* PENAMBANGAN EMAS RAKYAT DENGAN MENGGUNAKAN *FLY ASH*

Nama : Wahyuni Dwi Susilowati
NRP : 3312100082
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

ABSTRAK

Penambangan emas rakyat di Kulon Progo menghasilkan *tailing* yang mengandung merkuri. Pada penelitian terdahulu diperoleh data kadar merkuri *tailing* penambangan emas Kulon Progo sebesar 164-384 mg/kg. Di lokasi tambang emas tersebut terdapat tempat penimbunan *tailing* aktif (TPTA) dan Tempat penimbunan tidak aktif (TPTTA). TPTA adalah tempat penimbunan untuk *tailing* yang dihasilkan oleh penambangan emas rakyat yang masih aktif beroperasi. Tempat penimbunan tidak aktif (TPTTA) adalah lokasi penimbunan *tailing* penambangan emas rakyat yang sudah tidak beroperasi. Salah satu upaya remediasi timbunan *tailing* adalah teknik stabilisasi/solidifikasi (S/S). Penelitian bertujuan menentukan karakteristik *tailing* TPTA dan TPTTA serta menentukan komposisi optimum S/S *tailing* TPTA dan TPTTA menggunakan *fly ash*.

Pengambilan sampel *tailing* dilakukan di lima TPTA dan di lima TPTTA, serta di satu lokasi kontrol yang tidak tercemar. Sampel diambil pada kedalaman 30, 60, dan 90 cm pada setiap lokasi. Karakteristik *tailing* yang dianalisis adalah total konsentrasi logam berat, pH, dan kadar air. Sampel *tailing* yang digunakan untuk pembuatan benda uji S/S dicampur secara homogen terlebih dahulu. Pembuatan benda uji menggunakan cetakan berbentuk kubus dengan panjang sisi 5 cm. Variasi rasio berat sampel dari TPTA : *fly ash* adalah 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90, 0:100. Sedangkan variasi rasio berat sampel dari TPTTA : *fly ash* (%) adalah 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90, 0:100. Uji kuat tekan terhadap benda uji S/S dilakukan dengan *Toorse Universal Testing Machine*. Uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) dilakukan terhadap benda uji S/S dengan metode US EPA 1311.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar merkuri pada sampel TPTA sebesar 160-318 mg/kg dan pada sampel TPTTA sebesar 94-99 mg/kg. Total konsentrasi merkuri melebihi baku mutu PP No.101 Tahun 2014 yaitu sebesar 75 mg/kg. Nilai pH sampel TPTA sebesar 6,58 dan nilai pH sampel TPTTA sebesar 7,3. Kadar air pada sampel *tailing* sekitar 19,16-34,41%. Jenis tanah setempat merupakan campuran lempung dan lanau, yang juga salah satu bahan pozzolan yang baik untuk proses S/S. Hasil penelitian menunjukkan bahwa merkuri mampu terstabilisasi dan tersolidifikasi dengan baik. Nilai kuat tekan produk S/S TPTA dan TPTTA masing-masing sebesar 53 ton/m² dan 107 ton/m². Nilai kuat tekan tersebut memenuhi baku mutu menurut Keputusan Kepala Bappedal No.3 Tahun 1995 sebesar 10 ton/m². Kadar merkuri dari kedua hasil uji TCLP produk S/S TPTA dan TPTTA adalah < 0,0005 mg/L. Nilai tersebut memenuhi baku mutu berdasarkan PP No.101 Tahun 2014, yaitu sebesar 0,05 mg/L.

Kata Kunci : *fly ash*, merkuri, penambangan emas rakyat, stabilisasi/ solidifikasi, *tailing*

APPLICATION OF STABILIZATION/SOLIDIFICATION TECHNIQUE TO REMEDIATE TAILING PILES FROM ARTISANAL GOLD MINING USING FLY ASH

Name of Student : Wahyuni Dwi Susilowati
NRP : 3312100082
Study Programme : Teknik Lingkungan
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

ABSTRACT

Artisanal gold mining generates tailing residue which contains mercury. Results of the preliminary research showed that the tailing residue in artisanal gold mine in Kulon Progo contained mercury concentration of 164-384 mg/kg. There are two kinds of tailing dump sites in the public gold mine. These are active tailing piling site (ATPS) and inactive tailing piling site (ITPS). ATPS is the tailing residue piling site of the public gold mine, which is still operated, whereas ITPS is tailing dumpsite which is not any longer use for tailing disposal. One of the efforts to minimize the impact of mercury in the tailing dump is by stabilization/solidification method. This research aimed to determine the characteristics of tailing residue in the ATPS and ITPS. Besides, this research will determine optimum composition of samples from the ATPS and ITPS using fly ash.

Tailing samples were collected from five ATPS's, five ITPS's, and from a control location which was not contaminated by tailing residue. The samples were taken from 30, 60, and 90 cm depths. Heavy metal concentrations, pH, and moisture content of each sample were measured. Samples from each location were mixed thoroughly prior to S/S process. The S/S specimens were prepared using 5 cm cubic shaped mould cast. Composition variations between ATPS and ITPS tailing samples and fly ash were adjusted to 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90, and 0:100 w/w. The quality of S/S specimens was analyzed using compressive strength and Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) tests.

Compressive strength test was performed using Toorse Universal Testing Machine, whereas the TCLP test was conducted following US EPA 1311.

Mercury concentrations in samples from the ATDS ranged from 160 to 318 mg/kg, whereas those from the ITDS were 94-99 mg/kg. These values exceeded the quality standards of the Government Regulation No.101/2014 of 75 mg/kg. The pH values of samples from ATPS and ITPS were 6.58 and 7.3 respectively. The moisture contents of the tailing residue varied from 19.16% to 34.41%. The soil in the study area was classified as silty clay, which might support the binding mechanism during the S/S process. The compressive strength values of the S/S products of the ATDS and ITDS samples were 53 ton/m² and 107 ton/m² respectively. These values met the quality standards of the Head of Environmental Impact Control Agency (BAPEDAL) No. 3/1995 of 10 ton/m². The result of TCLP test for mercury of the S/S products of ATDS and ITDS samples were below 0.0005 mg/L. This value met the quality standards of Government Regulation No.101/2014 of 0.05 mg/L.

Key words : *fly ash, mercury, artisanal gold mining, stabilization/solidification, tailing*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulisan laporan “Aplikasi Teknik Stabilisasi/Solidifikasi untuk Remediasi Timbunan *Tailing* Penambangan Emas Rakyat Menggunakan *Fly Ash*” ini dalam rangka memenuhi persyaratan pengajuan tugas akhir dari Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS. Dalam penyusunan laporan ini penyusun menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas bimbingannya.
2. Ibu Dr.Ir. Ellina Sitepu Pandebesie, M.T, Bapak Dr. Ir. Agus Slamet, MSc., Ibu Ipung Fitri Purwanti S.T., M.T., Ph.D selaku dosen penguji.
3. Bapak Ir. Mas Agus Mardyanto, ME., PhD selaku dosen wali dari penyusun.
4. Ibu IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D., selaku Kepala Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
5. Ibu Harmin Sulistyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D., selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
6. Mama, Kakak, dan Adik, serta keluarga yang telah banyak memberikan dorongan dan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Bapak Ranno Marlanny, Mas Zofar Agluis Banunaek dan Ihsan Aulia Pamayo selaku teman seperjuangan Tugas Akhir yang telah banyak membantu.
8. Teman-teman Jurusan Teknik Lingkungan angkatan 2012, terima kasih atas bantuan dan dukungannya.

Penyusun tugas akhir ini telah berusaha memberikan yang terbaik. Salam.

Surabaya, 2016

Wahyuni Dwi Susilowati

3312 100 082

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar Isi

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah B3	5
2.2 Logam Merkuri	5
2.3 Amalgamasi	6
2.4 Stabilisasi/Solidifikasi	8
2.5 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	11
2.6 Uji Kuat Tekan Beton	13
2.7 Uji TCLP	13

2.8	Teknik Perawatan Mortar (Curing).....	14
2.9	Penelitian Terdahulu	14
2.10	Gambaran Umum Wilayah	15
2.11	Jenis Tanah Setempat.....	16
BAB 3	METODE PENELITIAN.....	17
3.1	Kerangka Penelitian.....	17
3.2	Tahapan Penelitian.....	20
3.2.1	Ide Penelitian.....	20
3.2.2	Studi Literatur.....	20
3.2.3	Penentuan Variabel dan Parameter	20
3.2.4	Persiapan Alat dan Bahan.....	21
3.2.5	<i>Sampling</i> Timbunan <i>Tailing</i>	21
3.2.6	Penentuan Karakteristik Awal	23
3.2.7	Uji Konsistensi Normal	24
3.2.8	Pembuatan Benda Uji.....	25
3.2.9	Perawatan (<i>Curing</i>).....	28
3.2.10	Uji Kuat Tekan.....	28
3.2.11	Uji TCLP.....	29
3.2.12	Analisis Data	29
3.2.13	Kesimpulan	30
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1	Karakteristik Sampel.....	31

4.1.1	Kondisi Fisik	31
4.1.2	pH	32
4.1.3	Kadar Air	33
4.1.4	Total Konsentrasi.....	33
4.1.5	Karakteristik <i>Fly Ash</i>	35
4.2	Penentuan Komposisi Optimum Timbunan <i>Tailing</i> dan <i>Fly Ash</i> untuk Teknik S/S.....	36
4.2.1	Uji Konsistensi Normal	36
4.2.2	Uji Kuat Tekan.....	38
4.2.3	Uji TCLP.....	43
BAB 5 Kesimpulan dan Saran.....		51
DAFTAR PUSTAKA.....		53
LAMPIRAN A		59
LAMPIRAN B		65
LAMPIRAN C		75
BIOGRAFI PENULIS.....		79

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Diagram alir merkuri pada proses amalgamasi.....	7
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	19
Gambar 3.2 Alur Pengambilan Sampel.....	22
Gambar 3.3 <i>Bond Ball Mill</i>	24
Gambar 3.4 Benda Uji	26
Gambar 3.5 Pengadukan menggunakan mixer.....	27
Gambar 3.6 Pencetakan dengan specimen mold	27
Gambar 3.7 <i>Moisture curing</i>	28
Gambar 4.1 (a) Timbunan TTPA (b) Timbunan TTPTA (c) Tanah Kontrol	31
Gambar 4.2 <i>Fly Ash</i> PLTU Paiton	35
Gambar 4.3 Pengukuran Uji Konsistensi dengan Alat Vicat	37
Gambar 4.4 Hasil Uji Kuat Tekan <i>Fly Ash</i> : TTPA	38
Gambar 4.5 Hasil Uji Kuat Tekan <i>Fly Ash</i> : TTPTA	39
Gambar 4.6 Hasil Uji Kuat Tekan <i>Fly Ash</i> : Tanah Kontrol	40
Gambar 4.7 Perbandingan Hasil Uji Kuat Tekan	41
Gambar 4.8 Larutan TCLP Setelah Penyaringan	44
Gambar 4.9 Data pH Sampel Benda Uji <i>Fly Ash</i> : TTPA	45
Gambar 4.10 Data pH Sampel Benda Uji <i>Fly Ash</i> : TTPTA.....	45
Gambar 4.11 Data pH TCLP Benda Uji <i>Fly Ash</i> : Tanah Kontrol.....	46
Gambar 4.12 Hasil Uji TCLP Benda Uji	48

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i>	12
Tabel 2.2 Penelitian Pendahuluan	14
Tabel 3.1 Jumlah Sampling TTPA.....	23
Tabel 3.2 Jumlah Sampling TTPTA	23
Tabel 3.3 Jumlah Sampling Tanah Kontrol	23
Tabel 3.4 Variasi Komposisi dari TTPA dan <i>Fly Ash</i>	25
Tabel 3.5 Variasi Komposisi dari TTPTA dan <i>Fly Ash</i>	25
Tabel 3.6 Variasi Komposisi dari Tanah Kontrol dan <i>Fly Ash</i>	26
Tabel 3.7 Baku Mutu Benda Uji.....	29
Tabel 4.1 Jenis Butiran Tanah Setempat	32
Tabel 4.2 Nilai pH Sampel.....	32
Tabel 4.3 Kadar Air Sampel	33
Tabel 4.4 Total Konsentrasi Merkuri	34
Tabel 4.5 Total Konsentrasi Logam Berat.....	34
Tabel 4.6 Nilai Uji Konsistensi	36

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penambangan emas konvensional di Kulon Progo ini sudah beroperasi sekitar \pm 20 tahun yang lalu (Setiabudi, 2005). Penambangan ini kurang dukungan dari pemerintahan, penyalahgunaan B3, prosedur kerja, dan kurangnya pengetahuan pekerja tentang pertambangan dan isu lingkungan kesehatan (Shandro *et al.*, 2009). Penambangan emas ini menggunakan proses amalgamasi. Amalgamasi adalah proses penyelaputan partikel emas oleh air raksa dengan membentuk amalgam. Amalgam adalah padatan yang mengandung merkuri untuk mengikat partikel emas (Widodo, 2008).

Ada 10-15 juta penambangan emas rakyat di lebih dari 70 negara dalam prosesnya melepaskan 640 ton merkuri ke lingkungan (Lo'pez *et al.*, 2010). Sekitar 15% total merkuri dari akhir proses amalgamasi menjadi *tailing*. *Tailing* dari sisa pengolahan yang masih mengandung emas dibuang dalam jumlah yang cukup banyak. Proses amalgamasi ini memungkinkan adanya pencemaran tanah oleh *tailing* mengandung limbah merkuri. Hasil analisis kandungan *tailing* pada penambang emas rakyat Kulon Progo memiliki kadar merkuri sebesar 164-384 mg/kg (Kalimantoro, 2016). Sedangkan menurut PP No.101 Tahun 2014, total konsentrasi merkuri sebesar 75 mg/kg.

Penambangan emas rakyat Kulon Progo terdapat penambangan masih aktif beroperasi dan ada yang sudah tidak aktif beroperasi. Penambangan emas aktif adalah penambangan emas yang masih memproduksi emas dan masih menghasilkan limbah dari proses amalgamasi. Penambangan emas tidak aktif adalah penambangan emas yang sudah berhenti memproduksi dan timbunan *tailing* sudah tertimbun pada waktu yang lama. *Tailing* tersebut ditimbun tidak sesuai dengan peraturan Keputusan Bapedal No.01 Tahun 1995 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis dan Penyimpanan dan Pengumpulan Limbah B3. *Tailing* ditimbun di galian tanah sekitar penambangan emas

rakyat. Hal ini memungkinkan *tailing* yang ditimbun tersebut semakin meresap ke tanah. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk mengetahui karakteristik dari *tailing* yang ada di tempat penimbunan aktif dan tempat penimbunan tidak aktif.

Merkuri termasuk dalam Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Limbah merkuri bila dibuang ke lingkungan akan sangat berbahaya. PP No. 101 Tahun 2014 mencantumkan baku mutu TCLP B parameter merkuri adalah 0,05 mg/L. Merkuri di tanah biasanya dalam bentuk metil merkuri, merkuri inorganik, dan merkuri murni dari *dental amalgam restoration* (Putranto, 2011).

Salah satu teknik pengolahan timbunan *tailing* ini dengan stabilisasi/solidifikasi. Stabilisasi/solidifikasi (S/S) adalah bentuk padatan limbah diubah secara fisik dan kimiawi guna mengurangi toksisitas dan mobilitas dari limbah sehingga lebih mudah dalam penanganannya (Utomo, 2007). S/S ini merupakan pencampuran dari limbah, bahan pengikat, dan bahan pencampur. Bahan pencampur yang biasa digunakan adalah gipsum, pasir, lempung, dan abu terbang. Bahan pengikat yang biasa digunakan adalah semen, kapur, dan tanah liat.

Fly ash adalah produk sampingan dari pembakaran batubara di pembangkit tenaga listrik (Feng dan Clark, 2011). *Fly ash* adalah bahan tambahan *cementitious* yang paling umum digunakan. *Fly ash* memiliki keunggulan yaitu ukurannya yang halus dan mengandung oksida silika yang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat (Hardjito, 2001). *Fly ash* memiliki ukuran yang kecil membuat beton lebih padat karena rongga antara butiran agregat diisi oleh *fly ash* (Rommel dan Rudianto, 2012). Hal tersebut dapat memperkecil pori-pori yang ada dan memanfaatkan sifat pozzolan dari *fly ash* untuk memperbaiki mutu beton. *Fly ash* dapat meningkatkan kualitas kerja beton, membuat beton jadi lebih kedap air, meningkatkan ketahanan beton dari korosif dan lebih ekonomis (Irawan *et al.*, 2012). Oleh karena itu, perlu adanya penentuan komposisi yang optimum dari variasi timbunan *tailing* dan *fly ash*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Bagaimana karakteristik timbunan TTPA dan TTPTA penambangan emas rakyat?
2. Berapakah komposisi optimum TTPA dan TTPTA menggunakan *fly ash* dengan teknik S/S?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Mengidentifikasi karakteristik timbunan TTPA dan TTPTA penambangan emas rakyat.
2. Menentukan komposisi optimum TTPA dan TTPTA menggunakan *fly ash* dengan teknik S/S.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang karakteristik timbunan *tailing* dari penambangan emas rakyat.
2. Memberikan pengetahuan teknik S/S menggunakan *fly ash* pada limbah *tailing* mengandung merkuri..

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi oleh batasan-batasan ruang lingkup antara lain

1. Penelitian dilakukan skala laboratorium.
2. Pembuatan benda uji S/S dan uji kuat beton dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
3. Pengujian TCLP produk S/S dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
4. Penelitian dilakukan pada Maret 2016 – Mei 2016.
5. Variabel yang digunakan pada penelitian ini:
 - Variasi jenis timbunan *tailing* penambangan emas rakyat
 - Variasi komposisi sampel limbah *tailing* dan *fly ash*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah B3

Pengertian Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3. Sedangkan pengertian B3 adalah usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3 yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain (PP No. 101 Tahun 2014). Pengelolaan Limbah B3 dimaksudkan agar limbah B3 yang dihasilkan masing-masing unit produksi sesedikit mungkin dan bahkan diusahakan sampai nol. Salah satu upaya pengelolaan limbah B3 yaitu pengolahan limbah B3.

Pengolahan limbah B3 adalah menetralisasi sifat-sifat berbahaya komponen limbah, mengubah menjadi bentuk yang lebih aman, dan imobilisasi potensi bahaya limbah tersebut (Purnomo, 2000). Menurut Keputusan Kepala Bapedal No. 03 Tahun 1995, pengolahan limbah B3 dapat dilakukan secara pengolahan fisika dan kimia, stabilisasi/solidifikasi, dan insinerasi.

2.2 Logam Merkuri

Merkuri mempunyai simbol kimia Hg atau *Hydragyrum* yang berarti perak cair adalah logam berat berbentuk cair pada temperatur kamar dan berwarna putih keperakan. Menurut Setiabudi (2007), merkuri sangat jarang dijumpai sebagai logam murni di alam dan biasanya membentuk mineral sinabar atau merkuri sulfida (HgS). Merkuri sering berasosiasi dengan endapan logam sulfida lainnya, diantaranya Au, Ag, Sb, As, Cu, Pb dan Zn, sehingga di daerah mineralisasi emas tipe urat biasanya kandungan merkuri dan beberapa logam berat lainnya cukup tinggi.

Menurut Palar (1994), secara umum logam merkuri memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Berwujud cair pada suhu kamar (25°C) dengan titik beku paling rendah -39°C

2. Merupakan logam yang paling mudah menguap dibandingkan dengan logam-logam yang lain.
3. Tahanan listrik yang dimiliki sangat rendah, sehingga menempatkan merkuri sebagai logam yang sangat baik untuk menghantarkan listrik.
4. Dapat melarutkan bermacam-macam logam untuk membentuk *alloy* yang disebut juga dengan amalgam.
5. Merupakan unsur yang sangat beracun bagi semua makhluk hidup, baik itu dalam bentuk unsur logam ataupun dalam bentuk persenyawaan.

Merkuri organik lebih beracun daripada merkuri anorganik. Merkuri organik dari jenis metil-merkuri memiliki afinitas tinggi untuk jaringan lemak dan dapat menumpuk melalui rantai makanan yang lebih tinggi (Zhang *et al.*, 2009). Uap merkuri yang masuk ke dalam paru-paru akan berikatan dengan darah. Merkuri yang masuk ke dalam paru-paru akan berikatan dengan darah (Dewi, 2013).

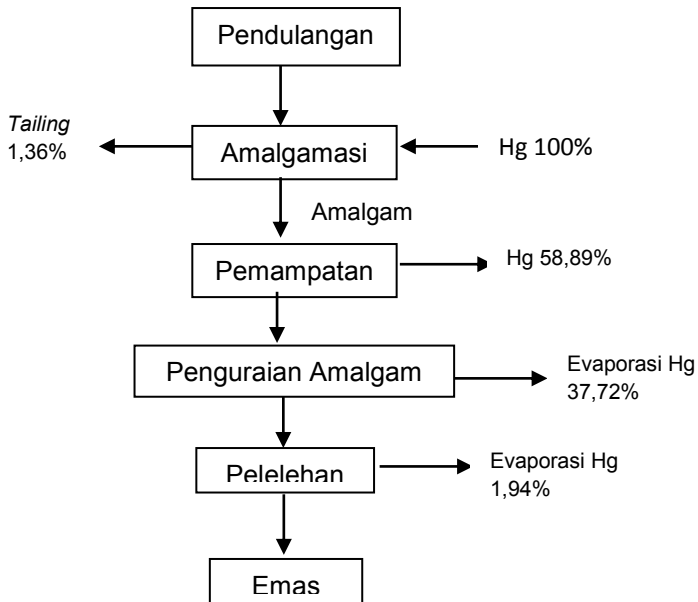
Merkuri dihasilkan dari kegiatan industri dan penambangan. Merkuri terendapkan di dalam permukaan tanah yang mengakibatkan masuknya unsur merkuri ke dalam tanah. Merkuri terendapkan dalam tanah dan memasuki celah-celah tanah hingga ke dalam lapisan air tanah yang dibawa oleh air hujan (Putranto, 2011).

Menurut Pivets (2001), penurunan merkuri dalam tanah juga disebabkan oleh kemampuan merkuri sebagai jenis logam berat yang mampu menguap ke atmosfer. Menurunnya konsentrasi Hg dalam tanah juga dipengaruhi oleh pemberian bahan organik. Bahan organik dapat membentuk senyawa kompleks dengan logam berat. Pembentukan senyawa kompleks ini dapat menurunkan kelarutan logam-logam berat.

2.3 Amalgamasi

Menurut Widodo (2008), amalgamasi adalah salah satu proses penambangan emas tradisional dengan cara pengikatan logam emas dari bijih emas dengan menggunakan merkuri (Hg) yang membentuk amalgam. Amalgamasi menghasilkan limbah pencucian dan pendulangan untuk memisahkan amalgam dari ampas (*tailing*). Amalgam adalah perpaduan logam emas/perak dengan Hg. Banyaknya proses pengolahan bijih emas dengan

amalgamasi mengakibatkan adanya limbah *tailing* yang tercecer karena kolam *tailing* yang penuh. Limbah *tailing* tersebut mengandung komponen merkuri dan uap merkuri yang bebas. Gambar 2.1 berikut merupakan diagram alir merkuri pada proses amalgamasi.



Gambar 2.1 Diagram alir merkuri pada proses amalgamasi

Sumber: López, 2010

Tailing dapat berupa padatan semacam pasir yang sangat halus atau *slurry* yaitu *tailing* padat yang bercampur dengan air membentuk lapisan tipis (Purwantari, 2007). Pada umumnya, *tailing* bersifat porositas tinggi sehingga kapasitas memegang air rendah, struktur tidak stabil, sangat sedikit bahan organik, sedikit unsur hara mikro dan makro, aktivitas mikroba juga tidak ada sama sekali. Hal ini memerlukan waktu yang relatif lama dan strategi tertentu untuk mengelolanya menjadi area atau lahan yang lebih produktif. Secara umum pembuangan *tailing* dilakukan di lingkungan darat yaitu pada depresi topografi atau penampung

buatan; sungai atau danau, dan laut (Purwani, 2010). *Tailing* sering mengandung konsentrasi mineral berharga yang tidak memenuhi syarat untuk diambil pada saat ditambang, tetapi disimpan untuk penggunaan di masa mendatang.

Secara mineralogi *tailing* dapat terdiri atas beraneka mineral seperti silika, silikat besi, magnesium, natrium, kalium, dan sulfida. Dari mineral-mineral tersebut, sulfida mempunyai sifat secara kimiawi, dan apabila bersentuhan dengan udara akan mengalami oksidasi sehingga membentuk garam-garam bersifat asam dan aliran asam mengandung sejumlah logam beracun seperti As, Hg, Pb, dan Cd yang dapat mencemari lingkungan.

2.4 Stabilisasi/Solidifikasi

Menurut LaGrega, *et al.*, (1994), stabilisasi adalah proses penambahan bahan aditif atau reagen untuk mengurangi bahaya limbah dengan mengubah limbah tersebut menjadi sebuah bentuk:

- Untuk meminimisasi laju migrasi kontaminan ke lingkungan
- Untuk mengurangi tingkat sifat racun

Solidifikasi adalah proses mengurangi tingkat racun dan kandungan limbah B3 dengan cara mengurangi daya larut dan imobilisasi sifat racun. Menurut Munir (2008), proses S/S pada prinsipnya adalah mengubah sifat fisika dan kimia limbah B3 dengan cara menambahkan bahan pengikat membentuk senyawa monolit dengan struktur kompak. Stabilisasi merkuri digunakan untuk mengkonversi merkuri elemental dan senyawa merkuri menjadi senyawa dengan sifat fisik dan kimia yang lebih aman (Haggerman, 2009). Bahan pencampur yang biasa digunakan adalah gipsum, pasir, lempung, dan abu terbang. Bahan pengikat yang biasa digunakan adalah semen, kapur, dan tanah liat.

Menurut Trihadiningrum (2000), tujuan S/S adalah sebagai berikut:

1. Mengkonversi limbah beracun menjadi massa yang secara fisik inert.
2. Memiliki daya *leaching* rendah.
3. Memiliki kekuatan mekanik yang cukup agar aman untuk dibuang ke *landfill* limbah B3.

Ada 3 area yang sering diaplikasikan teknologi stabilisasi yaitu:

- Stabilisasi limbah di lahan pembuangan limbah untuk pembuangan di *secure landfill*.
- Remediasi kontaminan di lokasi penambangan.
- Solidifikasi untuk limbah industri seperti limbah yang tidak stabil seperti lumpur.

Mekanisme proses stabilisasi yang banyak digunakan yaitu:

- Makroenkapsulasi. Makroenkapsulasi yaitu mekanisme dimana limbah B3 secara fisik diperangkap di sebuah struktur matriks yang lebih besar. Oleh karena itu, limbah B3 ditahan dengan bahan stabilisasi.
- Mikroenkapsulasi. Mikroenkapsulasi yaitu mekanisme dimana limbah B3 diperangkap dengan struktur kristalin dari matrik solidifikasi di tingkat mikroskopis. Walaupun bahan stabilisasi terdegradasi jadi partikel yang kecil, limbah B3 yang sudah terstabilisasi tetap terperangkap.
- Absorpsi. Absorpsi adalah proses kontaminan diikat oleh absorben agar lebih mudah untuk penanganan limbah.
- Adsorpsi. Adsorpsi adalah proses kontaminan elektrokimia yang berikatan dengan bahan stabilisasi.
- Presipitasi. Pada stabilisasi tertentu akan ada pengendapan kontaminan dari limbah yang dihasilkan dalam bentuk yang lebih stabil.
- Detoksifikasi. Reaksi kimia tertentu mengambil alih selama proses stabilisasi sehingga dihasilkan sebuah limbah dengan tingkat toksisitas yang rendah.

Teknologi dengan proses stabilisasi yang banyak digunakan yaitu:

1. Stabilisasi dengan semen. Proses pencampuran limbah dengan semen kemudian ditambahkan air lalu terjadi hidrasi.
2. Vitrifikasi atau glasifikasi. Vitrifikasi adalah pencairan dan peleburan bahan mengandung silikat pada suhu $> 1600^{\circ}\text{C}$, yang diikuti dengan pendinginan cepat.

3. Absorpsi. Absorben untuk menyerap limbah yang bersifat cair agar lebih mudah ditangani.
4. Kapsulasi termoplastik. Kapsulasi termoplastik dilakukan dengan mencampur bahan termoplastik dengan limbah yang telah dikeringkan dan memanaskannya pada suhu sekitar 100°C dan dilakukan pendinginan. Contoh bahan termoplastik adalah aspal, bitumen, polyethylene, polypropylene, dan nylon.
5. Kapsulasi makro. Kapsulasi makro dilakukan dengan membungkus limbah B3 dalam kapsul pembungkus yang bersifat inert dan kedap air. Bahan kapsulasi dapat dari campuran *fiberglass*, resin epoksida, dan resin polyurethane.

Tata cara kerja proses stabilisasi/solidifikasi sesuai Kep. Bapedal No.3 tahun 1995 adalah sebagai berikut:

1. Limbah B3 sebelum dilakukan proses S/S harus dianalisis karakteristiknya.
2. Hasil S/S dilakukan uji TCLP (*Toxicity Characteristics Leached Procedure*) untuk mengukur kadar/konsentrasi parameter dalam lindi.
3. Hasil S/S dilakukan uji kuat tekan (*Compressive strenght*) dan lolos uji "*Paint Filter Test*".
4. Limbah B3 yang telah memenuhi persyaratan kadar TCLP, nilai uji kuat tekan, dan lolos tes *paint filter test*, selanjutnya harus ditimbun ditempat penimbunan (*landfill*).

Menurut LaGrega *et al.*, (1994), sebagian besar aplikasi stabilisasi yang melibatkan penggunaan pozzolan untuk bahan anorganik. Pada lingkungan pH tinggi cocok dilakukan untuk limbah yang terkontaminasi dengan logam berat. Banyak penelitian di laboratorium untuk mengetahui efektifitas dari metode S/S.

Metode alternatif yang dapat diimplementasikan dengan teknologi stabilisasi di lapangan

- *In-drum Mixing*. Metode ini digunakan apabila limbah B3 berupa cairan dan lumpur. Reagen akan ditambahkan pada drum yang berisi limbah.

- *In situ Mixing*. Metode ini yang paling banyak digunakan. Metode ini menggunakan alat konstruksi dalam pencampuran.
- *Plant Mixing*. Metode ini mencampurkan reagen stabilisasi dengan limbah B3 dengan menggunakan *mixer* mekanik baik dengan secara *batch* ataupun secara terus menerus.

2.5 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Menurut Marzuki (2007), *fly ash* adalah sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus dan mengandung bahan anorganik yang terbentuk dari bahan mineral karena proses pembakaran. Proses pembakaran batubara tersebut terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Bahan utama *fly ash* terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3). Bahan ini bersifat pozzolan dan bereaksi dengan kalsium hidroksida serta alkali untuk membentuk senyawa-senyawa yang bersifat semen (*cementious*). *Fly ash* memiliki kemampuan menyerap air yang baik (Rommel *et al.*, 2012). Silika dikombinasikan dengan kapur (Ca) akan menghasilkan material yang bersifat semen, Kandungan Ca yang rendah dapat memperlambat proses hidrasi dengan *pozzolan* yang terkandung dalam *fly ash* tersebut. Komposisi silika amorf yang dominan dapat membuat peran Ca dalam reaksi dapat digantikan oleh silika. Aluminium dan besi melengkapi reaksi hidrasi dalam bahan *pozzolan*. Peran Al sendiri dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi, sulfat dan bersama-sama dengan silika oksida dapat meningkatkan kecepatan pada pengerasan awal beton. Fe_2O_3 berfungsi sebagai penghantar panas dalam pembuatan semen. *Fly ash* dapat meningkatkan kualitas kerja beton, membuat beton jadi lebih kedap air, meningkatkan ketahanan beton dari korosif dan lebih ekonomis (Irawan *et al.*, 2012). Komposisi kimia yang terkandung pada *fly ash* dibandingkan dengan semen portland dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Komposisi Kimia *Fly Ash*

Komposisi	Paiton 1	Paiton 2
SiO ₂ (%)	61,12	60,47
Al ₂ O ₃ (%)	15,63	16,51
Fe ₂ O ₃ (%)	15,32	15,19
SO ₃ (%)	2,36	2,26
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ (%)	92,07	92,17
CaO (%)	2,11	2,12
Kelas	F	F

Sumber : Priadana, 2012

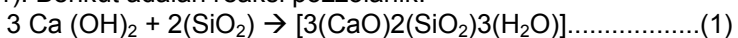
Menurut SNI S-15-1990-F tentang spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton, *fly ash* digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu:

- Kelas F : *Fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis antrasit dan *bituminous*.
- Kelas C : *Fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis lignite dan *subbituminous*
- Kelas N : Pozzolan alam, seperti tanah diatomik, shale, tufa, abu gunung berapi atau *pumice*.

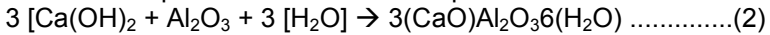
Menurut Marzuki dan Jogaswara (2007), faktor-faktor utama yang mempengaruhi kandungan mineral *fly ash* dari batu bara adalah

- Komposisi kimia batu bara.
- Proses pembakaran batu bara.
- Bahan tambahan yang digunakan termasuk bahan tambahan minyak untuk stabilisasi nyala api dan bahan tambahan untuk pengendalian korosi.

Reaksi pozzolanik yaitu reaksi kimia yang mungkin terjadi dengan asumsi reaksi kapur dengan reaksi pozzolan (Dunstan, 2011). Berikut adalah reaksi pozzolanik:



Reaksi pozzolanik juga dapat terjadi reaksi kimia antara kapur dan aluminium pozzolan. Berikut reaksi pozzolanik:



2.6 Uji Kuat Tekan Beton

Menurut Sebayang (2013), kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Pengujian kekuatan tekan beton dilakukan dengan menggunakan mesin tekan. Hasil massa beban maksimum akan terbaca dalam satuan ton. Benda uji diletakkan pada bidang tekan mesin secara sentris.

2.7 Uji TCLP

Menurut Damanhuri (2010), limbah yang beracun adalah limbah yang mengandung pencemar yang bersifat racun bagi manusia dan lingkungan yang dapat menyebabkan kematian atau sakit yang serius apabila masuk ke dalam tubuh melalui pernafasan, kulit, dan mulut. TCLP merupakan tes standar yang dilakukan untuk mengetahui mobilitas kontaminan yang terkandung dalam limbah (US EPA, 2004). Sampel diekstrak dengan asam organik dan diuji dengan simulasi di lokasi pembuangan. Indikator sifat racun yang digunakan adalah TCLP, seperti yang tercantum dalam lampiran II PP No.101 Tahun 2014. Uji karakteristik untuk mengidentifikasi limbah B3 kategori 2 meliputi uji karakteristik beracun melalui TCLP untuk menentukan limbah yang diuji memiliki konsentrasi zat pencemar lebih kecil dari atau sama dengan konsentrasi zat pencemar pada kolom TCLP-A. Selain itu memiliki konsentrasi zat pencemar lebih besar dari konsentrasi zat pencemar kolom TCLP-B sebagai tercantum dalam Lampiran III PP No.101 Tahun 2014. Menurut Faisal (2015), prosedur uji TCLP mengacu pada US EPA *Method* 1311. Baku mutu TCLP A dan TCLP B untuk logam merkuri berdasarkan Peraturan Pemerintah No.101 Tahun 2014 adalah 0,3 mg/L dan 0,05 mg/L.

Berikut adalah variabel yang memengaruhi pelindian kontaminan (LaGrega *et.al.*, 1994):

- Larutan ekstraksi
- Luas permukaan limbah (hasil penggilingan sampel jadi partikel kecil

- Jenis larutan ekstraksi (air suling, asam asetat, simulasi hujan asam)
- pH larutan ekstraksi
- Waktu kontak
- Tingkat agitasi
- Jumlah penggantian larutan ekstraksi
- Alat ekstraksi

2.8 Teknik Perawatan Mortar (Curing)

Perawatan beton bertujuan untuk mencegah pengeringan yang bisa menyebabkan kehilangan air yang dibutuhkan untuk proses pengerasan beton atau mengurangi kebutuhan air selama proses hidrasi semen. Pengaruh perawatan terhadap nilai kuat tekan adalah semakin bagus perawatan beton maka nilai kuat tekan semakin tinggi. Perawatan beton dilakukan selama 28 hari. Proses perawatan beton berlangsung secara teratur akan menghindarkan terjadinya keretakan pada beton tersebut.

Menurut Arradhika (2012), ada beberapa metode perawatan beton yang dapat dilakukan:

- Moist curing*, yaitu biasa dilakukan dengan merawat beton agar tetap basah dalam beberapa hari sejak pengecoran
- Steam curing*, yaitu perawatan dengan memberikan uap pada beton dalam suatu kamar, atau tempat khusus
- Curing compound*, yaitu perawatan beton dengan cara melapisi permukaan beton dengan senyawa kimia.

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini, dan berfungsi untuk mempermudah pelaksanaan penelitian ini. Selain itu, penelitian terdahulu dapat digunakan sebagai pembandingan dalam proses S/S yang akan dilakukan. Beberapa penelitian pendahuluan dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Penelitian Pendahuluan

No.	Sumber	Kadar	Hasil Penelitian
1.	Sebayang, 2010	<i>Fly ash</i> 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15%. Umur uji kuat tekan 7,	Kadar optimum 9% pada umur 56 hari.

No.	Sumber	Kadar	Hasil Penelitian
		14, 28, dan 56 hari.	
2.	Faisal, 2015	Campuran semen portland : <i>fly ash</i> adalah 100:0 ; 90:10 ; 80:20 ; 70:30 ; 60:40 ; 50:50	Kadar campuran yang optimum 60 :40
3.	Mardiono, 2010	Campuran <i>fly ash</i> sebanyak 10%, 20%, 30%, 40%. Umur uji kuat tekan 7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari	Kuat tekan optimum pada umur 28 hari pada campuran <i>fly ash</i> 10%
4.	Marzuki dan Jogaswara, 2007	Pembuatan beton dengan alternatif mutu E yaitu kapur : <i>fly ash</i> = 1 : 1	Kuat tekan maksimum pada umur 28 hari adalah 143,31 kg/cm ² dengan komposisi kapur : <i>fly ash</i> = 1:1

2.10 Gambaran Umum Wilayah

Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) terletak di bagian selatan Pulau Jawa, dan berbatasan dengan Provinsi Jawa Tengah dan Samudera Hindia. DIY memiliki luas 3.185,80 km². DIY terdiri atas satu kotamadya, yaitu, Kota Yogyakarta dan empat kabupaten yaitu Kabupaten Sleman, Kabupaten Gunungkidul, Kabupaten Kulon Progo, dan Kabupaten Bantul. Peta DIY dapat dilihat pada Lampiran C. Kabupaten Kulon Progo beribukota Wates. Kabupaten ini berbatasan dengan Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul di timur, Samudra Hindia di selatan, Kabupaten Purworejo di barat, serta Kabupaten Magelang di utara. Kabupaten Kulon Progo terdiri atas 12 kecamatan. Salah satunya adalah Kecamatan Kokap. Peta administrasi dari Kabupaten Kulon Progo dan Kecamatan Kokap dapat dilihat pada Lampiran C.

Menurut Setiabudi (2005), penambangan emas rakyat terletak di Dusun Sangon, Kelurahan Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, DIY. Daerah tersebut merupakan daerah yang terletak di bagian paling barat Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Secara geografis terletak antara 7° 38' 42"

LS - 7° 59' 03" LS dan 110° 01' 37" BT - 110° 16' 26" BT. Daerah tersebut berbatasan dengan Dusun Plampang II di utara, Desa Hargomulyo di selatan, Kabupaten Purworejo di barat, Dusun Papak di Timur. Perjalanan menuju ke lokasi dapat dilakukan dengan perjalanan darat menuju kota Yogyakarta. Dari Yogyakarta menuju ke Dusun Sangon dapat dilakukan perjalanan selama $\pm 1,5$ jam.

2.11 Jenis Tanah Setempat

Jenis tanah setempat dapat diklasifikasikan sesuai pada peta di Lampiran C. Lapisan tanah berupa lapisan grumosol, regosol, dan litosol. Grumosol yaitu lapisan yang terbentuk dari batuan induk kapur dan tuffa vulkanik. Grumosol biasanya bersifat basa dengan organik dan unsur hara yang rendah, serta bersifat lempung. Regosol adalah lapisan tanah dari endapan abu vulkanik yang memiliki butiran kasar. Tanah regosol dari materi gunung berapi atau dari endapan pasir di pantai. Litosol adalah lapisan tanah berbatu karena pelapukan batuan yang belum sempurna. Tanah ini sukar ditanami karena unsur haranya yang sangat rendah. Adapun pembagian jenis butiran pada tanah setempat yang disajikan pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Jenis Butiran Tanah Setempat

Jenis Butiran	Ukuran Partikel (mm)	Kandungan (%)
Kerikil	$\geq 4,76$	1,86
Pasir		
-Kasar	$\geq 2,00$	55,17
-Sedang	$\geq 0,425$	
-Halus	$\geq 0,075$	
Lanau	$\geq 0,0055$	30,69
Lempung	$\geq 0,0001$	12,57

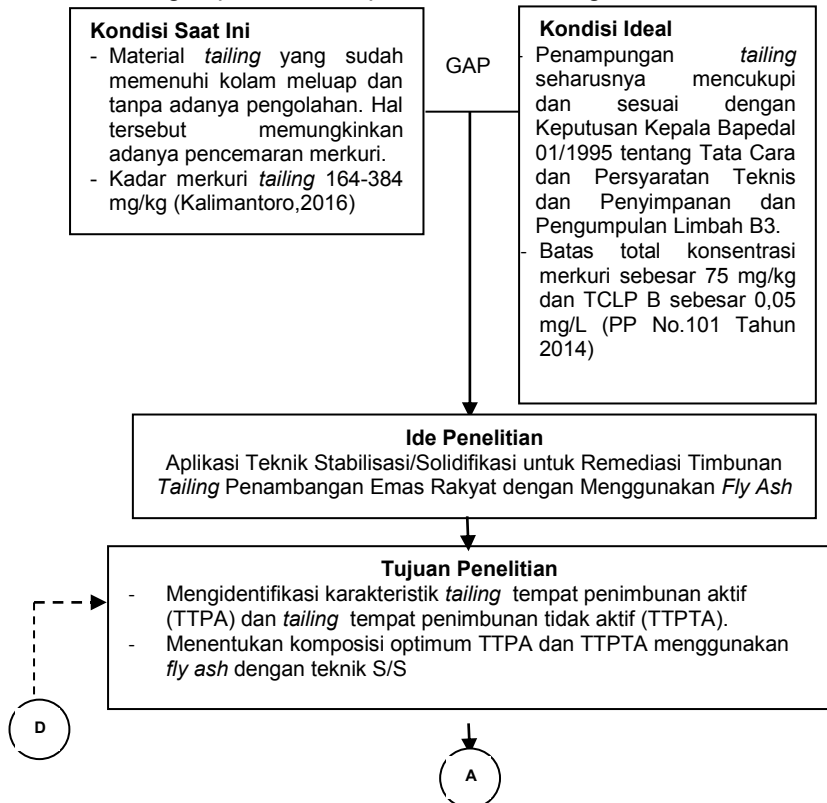
BAB 3 METODE PENELITIAN

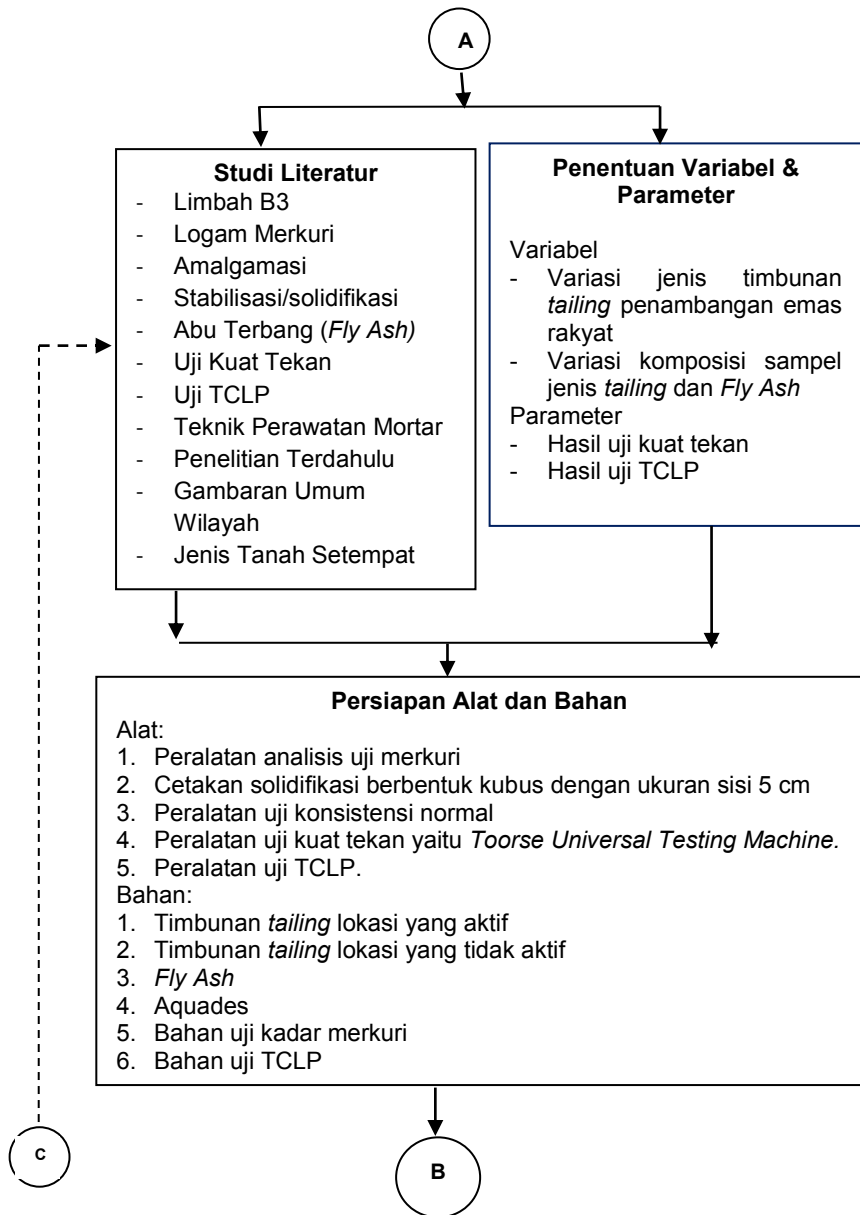
3.1 Kerangka Penelitian

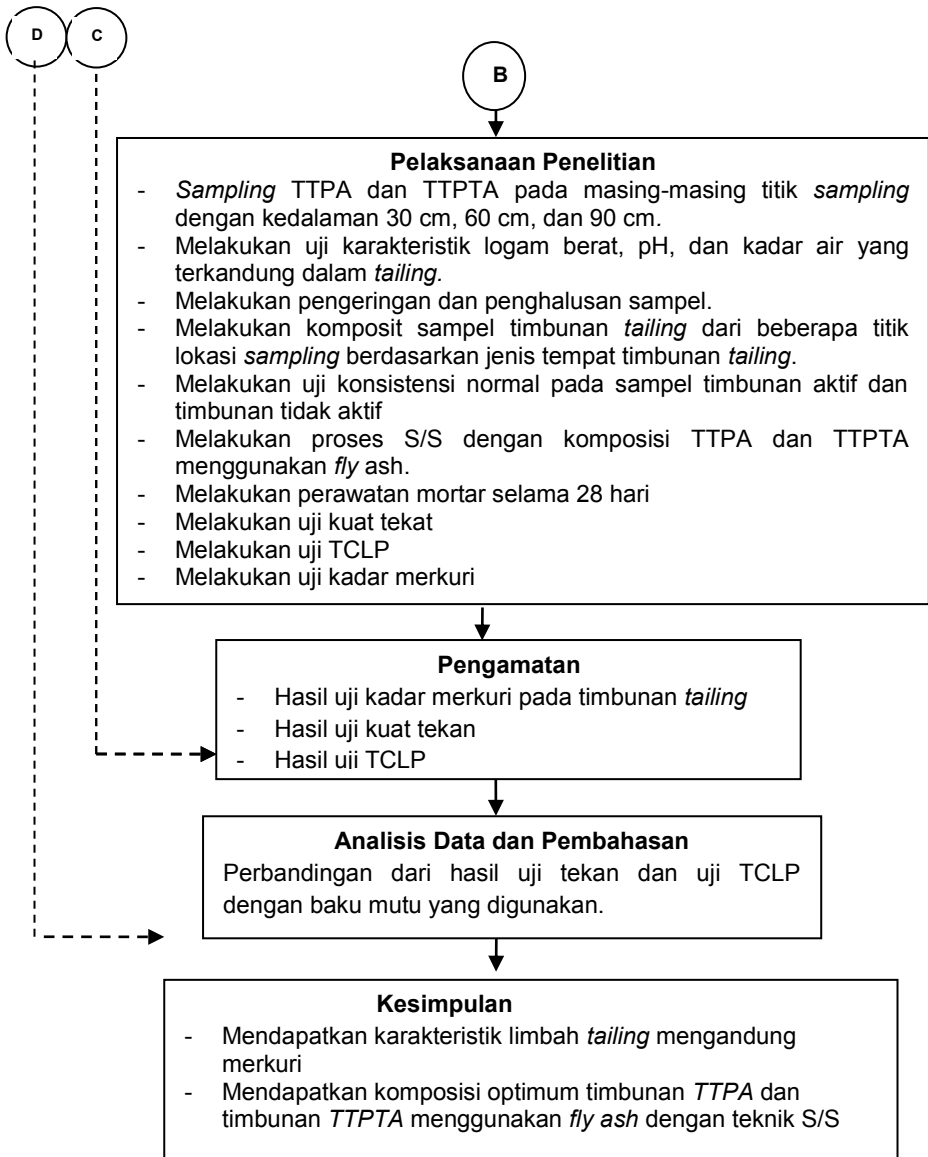
Pembuatan kerangka penelitian dimaksudkan untuk menjadi gambaran awal penelitian dan penulisan tugas akhir secara sistematis

- Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam melakukan penelitian dan penulisan tugas akhir
- Mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan

Berdasarkan ide penelitian yang telah dibuat, maka kerangka penelitian dapat dianalisis sebagai berikut







Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terdiri tahapan-tahapan yang harus dilakukan. Tahapan ini dijelaskan secara rinci. Tujuan dari perincian tahapan ini adalah untuk memudahkan dan menjelaskan pelaksanaan penelitian. Berikut ini adalah tahapan pelaksanaan penelitian:

3.2.1 Ide Penelitian

Ide penelitian didapatkan dari analisa *gap* dengan membandingkan kondisi eksisting dan kondisi ideal. Ide penelitian diperoleh dari masalah akibat perbedaan kedua kondisi yang signifikan. Penelitian kali ini adalah Aplikasi Teknik Stabilisasi/Solidifikasi untuk Remediasi Timbunan *Tailing* Penambangan Emas Rakyat dengan Menggunakan *Fly Ash*.

3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mendukung dan menjadi dasar terhadap ide penelitian. Sumber literatur yang digunakan adalah jurnal internasional, jurnal nasional, SNI, peraturan perundangan, *text book*, makalah seminar, prosiding, tugas akhir yang berhubungan dengan penelitian. Studi literatur bertujuan untuk mendukung, membandingkan, maupun meningkatkan pemahaman terkait dengan penelitian yang dilakukan. Studi literatur membahas mengenai limbah B3, logam merkuri, amalgamasi, stabilisasi/solidifikasi, abu terbang (*fly ash*), uji kuat tekan beton, uji TCLP, teknik perawatan mortar, penelitian terdahulu, dan jenis tanah setempat.

3.2.3 Penentuan Variabel dan Parameter

Variabel pada penelitian yaitu variasi dari jenis timbunan *tailing* dan variasi dari timbunan *tailing* dan *fly ash*. Jenis tempat penimbunan *tailing* dibedakan menjadi dua yaitu, tempat penimbunan aktif (TPA) dan tempat penimbunan tidak aktif (TPTA). TPA adalah tempat penimbunan *tailing* di penambangan emas rakyat yang masih aktif beroperasi. TPTA adalah tempat penimbunan *tailing* yang sudah tidak beroperasi karena penambangan emas rakyatnya sudah tidak memproduksi emas. TPTA sudah tidak dioperasikan selama \pm 2-8 tahun. Variabel yang kedua yaitu variasi timbunan TPTA dan *fly ash* serta variasi TTPTA dan *fly ash*. Variabel kontrol digunakan sebagai acuan/pembanding terhadap hasil uji kualitas benda uji yang

mengandung *tailing* dan tanah sekitar yang tidak mengandung *tailing*.

3.2.4 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan bertujuan untuk menyiapkan semua alat dan bahan yang dibutuhkan untuk penelitian. Alat yang dibutuhkan meliputi:

1. Cetakan solidifikasi berbentuk kubus dengan ukuran sisi 5 x 5 x 5 cm.
2. Peralatan uji konsistensi normal.
3. Peralatan uji kuat tekan yaitu *Toorse Universal Testing Machine*.
4. Peralatan uji TCLP.
5. Meteran
6. Sarung tangan
7. Masker
8. Kain Kasa
9. Kain Burlap
10. Kontainer
11. Cangkul dan Sekop
12. Galon PET
13. Timbangan
14. Label

Persiapan bahan yang akan digunakan sebagai berikut:

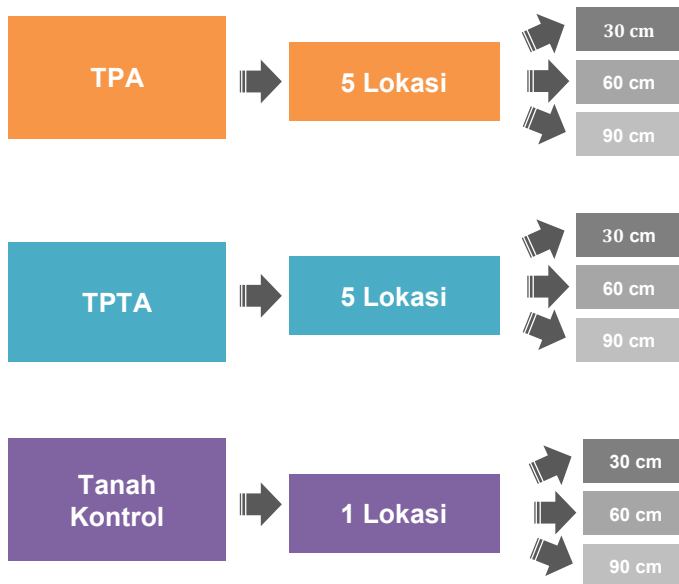
1. Timbunan *tailing* di TPA
2. Timbunan *tailing* di TPTA
3. Tanah kontrol
4. *Fly Ash*
5. Aquades
6. Bahan uji kadar merkuri
7. Bahan uji TCLP

3.2.5 Sampling Timbunan Tailing

Sampling timbunan *tailing* dilakukan di sekitar penambangan emas rakyat di Dusun Sangon, Kelurahan Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, DIY. Penentuan titik *sampling* dilakukan representatif dengan mempertimbangkan jarak antar titik dan kontur dari titik tersebut. *Sampling* limbah *tailing* dilakukan pada lima TPA, lima TPTA, dan satu titik tidak

tercemar *tailing* sebagai titik kontrol. Peta lokasi penambangan dapat dilihat pada Lampiran C.

Setiap titik diukur kedalamannya menggunakan meteran. Pengambilan sampel dilakukan dengan memperhatikan keselamatan diri dengan menggunakan alat pelindung diri. Alat pelindung diri meliputi masker, sarung tangan, dan sepatu tertutup. Sampel diambil menggunakan cangkul dan sekop. Pada setiap titik, sampel diambil pada 30 cm dari kedalaman, 60 cm dari kedalaman, dan 90 cm dari kedalaman. Pada Gambar 3.2 dapat dilihat alur pengambilan sampel di titik-titik timbunan *tailing* dengan kedalaman yang ditentukan.



Gambar 3.2 Alur Pengambilan Sampel

Sampel yang diambil lalu dimasukkan ke dalam galon berbahan PET. PET adalah bahan plastik yang baik karena bersifat kuat, tahan terhadap asam, kedap udara, dan tidak mudah rapuh. Galon ditutup rapat selama penyimpanan sampel. Banyaknya *tailing* yang disampling dapat dilihat pada Tabel 3.2, Tabel 3.3, dan Tabel 3.4.

Tabel 3.1 Jumlah Sampling TTPA

No.	Kedalaman (cm)	TTPA (g)			Total yang dikompositkan (g)
		A	B	C	
1.	30	1.000	1.000	1.000	3.000
2.	60	1.000	1.000	1.000	3.000
3.	90	1.000	1.000	1.000	3.000

Tabel 3.2 Jumlah Sampling TTPTA

No.	Kedalaman (cm)	TTPTA (g)			Total yang dikompositkan (g)
		A	B	C	
1.	30	1.000	1.000	1.000	3.000
2.	60	1.000	1.000	1.000	3.000
3.	90	1.000	1.000	1.000	3.000

Tabel 3.3 Jumlah Sampling Tanah Kontrol

No.	Kedalaman (cm)	Tanah Kontrol (g)
1.	30	1.000
2.	60	1.000
3.	90	1.000

3.2.6 Penentuan Karakteristik Awal

Sampel dikeringkan di Laboratorium Limbah Padat dan B3. Sampel dikeringkan di oven 50°C dari sore hari sampai dengan pagi hari. Hal ini dikarenakan merkuri yang akan menguap pada suhu tinggi dan gas yang dihasilkan berbahaya. Maka, pengeringan sampel dilakukan pada saat sudah tidak ada kegiatan di laboratorium. Pada saat pengeringan sampel juga diukur kadar air dari sampel tersebut. Sampel dikeringkan agar lebih mudah dalam proses penggilingannya. Sampel yang telah kering kemudian digiling menggunakan *bond ball mill*. Penggilingan sampel dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan. Alat ini berupa silinder besi yang diisi sampel yang

telah kering dan ditambahkan bola-bola besi yang digiling bersamaan. *Bond ball mill* akan berputar dengan kecepatan 56 rpm selama 2-3 jam. Tujuan dari penggilingan sampel adalah untuk mendapatkan ukuran partikel dari sampel yang lebih kecil dan halus sebelum pembuatan benda uji. *Bond ball mill* yang digunakan untuk menggiling sampel dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 *Bond Ball Mill*

Sampel yang sudah digiling kemudian diayak untuk mendapatkan sampel yang lebih halus. Sampel dikompositkan berdasarkan jenis tempat penimbunan sampel komposit TTPA dan sampel komposit TTPTA. Pengukuran pH pada sampel dilakukan dengan pH meter di Laboratorium Limbah Padat dan B3. Pengujian kadar merkuri dilakukan di Laboratorium Analisis Makanan dan Obat, Fakultas Farmasi, Universitas Surabaya. Metode yang digunakan untuk pengujian kadar merkuri dari sampel dengan menggunakan ICP (*Inductively Coupled Plasma*).

3.2.7 Uji Konsistensi Normal

Uji konsistensi normal dilakukan sebelum pembuatan benda uji untuk mengetahui banyaknya air yang harus ditambahkan pada masing-masing campuran komposisi benda uji. Metode uji konsistensi normal sesuai dengan ASTM C187 menggunakan alat vicat. Pengujian konsistensi normal dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, Teknik Sipil, ITS. Adapun peralatan yang dibutuhkan untuk uji konsistensi sebagai berikut:

1. Alat vicat yang terdiri dari batang vicat yang terdapat garis pengukur, cetakan adonan yang berbentuk kerucut terpancung, dan tatakan mika.
2. Wadah dan mesin *mixer*.
3. Gelas ukur 100 ml.
4. Neraca analitik.
5. Pisau perata.

Metode uji konsistensi normal dapat dilihat pada Lampiran A.

3.2.8 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan. Benda uji dibuat dengan cetakan kubus yang berukuran sisi 5 cm x 5 cm x 5 cm. Benda uji dibuat dari campuran sampel dan *fly ash*. Bahan komposisi sebanyak 300 gram. Tabel komposisi variasi-variasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.5, Tabel 3.6, dan Tabel 3.7.

Tabel 3.4 Variasi Komposisi dari TTPA dan *Fly Ash*

Nama Benda	Perbandingan Binder (%)	<i>Fly Ash</i> (g)	TTPA (g)
A	100:0	300	0
B	90:10	270	30
C	80:20	240	60
D	70:30	210	90
E	60:40	180	120
F	50:50	150	150
G	40:60	120	180
H	30:70	90	210
I	20:80	60	240
J	10:90	30	270
K	0:100	0	300
Jumlah		1.650	1.650
Total (Duplo)		3.300	3.300

Tabel 3.5 Variasi Komposisi dari TTPTA dan *Fly Ash*

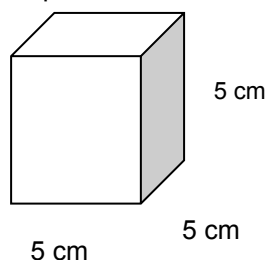
Nama Benda	Perbandingan Binder (%)	<i>Fly Ash</i> (g)	TTPTA (g)
A	100:0	300	0
B	90:10	270	30

Nama Benda	Perbandingan Binder (%)	Fly Ash (g)	TTPTA (g)
C	80:20	240	60
D	70:30	210	90
E	60:40	180	120
F	50: 50	150	150
G	40:60	120	180
H	30:70	90	210
I	20:80	60	240
J	10:90	30	270
K	0:100	0	300
Jumlah		1.650	1.650
Total (Duplo)		3.300	3.300

Tabel 3.6 Variasi Komposisi dari Tanah Kontrol dan *Fly Ash*

Nama Benda	Perbandingan Binder (%)	Fly Ash (g)	Tanah Kontrol (g)
A	100:0	300	0
B	90:10	270	30
C	80:20	240	60
D	70:30	210	90
E	60:40	180	120
F	50: 50	150	150
G	40:60	120	180
H	30:70	90	210

Gambar 3.4 berikut merupakan ukuran benda uji yang dibuat



Gambar 3.4 Benda Uji

Pembuatan benda uji membutuhkan campuran dari sampel dan *fly ash* sebanyak 300 gram. Campuran tersebut ditambahkan dengan banyaknya air sesuai hasil dari uji konsistensi normal. Alat yang digunakan yaitu

1. Wadah dan mesin *mixer*.
2. Gelas ukur 100 ml.
3. Pisau perata.
4. Cetakan *specimen mold* 5x5x5 cm

Pembuatan benda uji dan pencetakan benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6



Gambar 3.5 Pengadukan menggunakan mixer



Gambar 3.6 Pencetakan dengan specimen mold

Benda uji dapat diambil dari cetakan setelah ± 12 jam. Benda uji yang diambil dari cetakan ada yang sudah memadat sempurna, namun ada benda uji yang masih basah. Hal ini karena komposisi air yang berbeda-beda. Semua benda uji yang sudah dicetak, kemudian ditimbang terlebih dahulu sebelum di *curing*. Hal ini untuk mengetahui berat awal dari benda uji yang dibuat.

3.2.9 Perawatan (*Curing*)

Curing dilakukan untuk menjaga kelembaban benda uji dan memperlambat penguapan pada benda uji agar proses hidrasi optimal sehingga benda uji tidak mudah retak. Metode *curing* yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah *moisture curing*. *Moisture curing* dilakukan dengan cara meletakkan benda uji di atas kain kasa yang bagian bawahnya terdapat genangan air tanpa menyentuh permukaan benda uji. Berdasarkan SNI 2493-2011, pengujian *curing* dilakukan selama 28 hari. *Curing* yang digunakan adalah *moisture curing*. Benda uji diletakkan di atas kain berjala yang dibawahnya adalah kontainer berisi air tidak sampai penuh. Pada Gambar 3.7 adalah gambar benda uji pada saat *moisture curing*.



Gambar 3.7 *Moisture curing*

3.2.10 Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan bertujuan untuk mengetahui besaran kuat tekan yang dapat diterima oleh benda uji. Berdasarkan Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03 tahun 1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun, kuat tekan yang dapat diterima oleh benda uji minimum

10 ton/m². Metode uji kuat tekan sesuai dengan SNI 03-1974-1990. Uji kuat tekan ini dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS menggunakan alat bernama *Toorse Universal Testing Machine*.

3.2.11 Uji TCLP

Uji TCLP dilakukan untuk mengetahui tingkat konsentrasi toksisitas yang terdapat dalam limbah. Baku mutu TCLP-B sebesar 0,05 mg/L. Metode yang digunakan untuk uji TCLP sesuai dengan USEPA method 1311. Uji TCLP dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B3, Teknik Lingkungan ITS dan pengujian merkuri dilakukan di Balai Riset dan Standardisasi Industri dan Perdagangan Surabaya.

3.2.12 Analisis Data

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis hasil uji sampel dengan mengidentifikasi karakteristik yang terkandung dalam sampel. Selain itu, menganalisis hasil uji kuat dan uji TCLP pada tekan benda uji S/S. Hasil analisis tersebut dihubungkan dengan tabel dan grafik hubungan antara komposisi TTPA dan *fly ash* dengan komposisi TTPTA dan *fly ash*. Baku mutu yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.8

Tabel 3.7 Baku Mutu Benda Uji

Parameter	Baku Mutu	Sumber
Uji Kuat Tekan	10 ton/m ²	Keputusan Kepala Bappedal No. 3 Tahun 1995
Uji TCLP	0,05 mg/l	PP No.101 Tahun 2014
Total Konsentrasi	75 mg/kg	PP No.101 Tahun 2014

3.2.13 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis data, maka ditarik kesimpulan yang dibandingkan dengan tujuan penelitian. Kesimpulan yang akan didapatkan yaitu mendapatkan karakteristik limbah TTPA dan TTPTA. Selain itu, diperoleh komposisi optimum TTPA dan TTPTA menggunakan *fly ash* dengan teknik S/S.

BAB 4

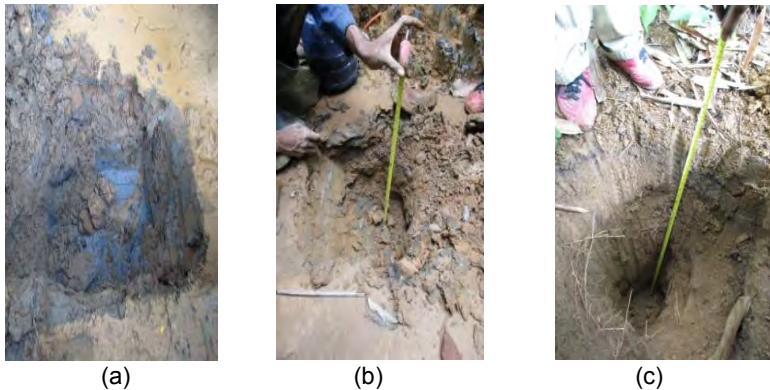
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Sampel

Tailing diambil dari penambangan emas rakyat di Desa Sangon, Kulon Progo, Yogyakarta. Tempat penimbunan *tailing* tidak sesuai dengan ketentuan Keputusan Kepala Bapedal 01/1995 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis dan Penyimpanan dan Pengumpulan Limbah B3. *Tailing* ditimbun pada galian tanah dekat lokasi amalgamasi.

4.1.1 Kondisi Fisik

Sampel TTPA berwarna abu-abu terang kecokelatan dan basah atau *slurry*. Sementara itu, sampel TTPTA berwarna abu-abu kecokelatan dan basah atau *slurry*. Selanjutnya, sampel tanah kontrol berwarna cokelat, seperti tanah biasa dan beberapa ada yang berbentuk bongkahan. Gambar 4.1 berikut merupakan gambar ketiga sampel tersebut.



Gambar 4.1 (a) Timbunan TTPA (b) Timbunan TTPTA (c) Tanah Kontrol

Tanah setempat termasuk lapisan tanah grumosol, litosol, dan regosol. Menurut Banunaek (2016), permeabilitas tanah di daerah sekitar sebesar $1,03 \times 10^{-12}$ sampai dengan $7,32 \times 10^{-13}$.

Tabel 4.1 adalah tabel jenis butiran yang terkandung dalam tanah setempat

Tabel 4.1 Jenis Butiran Tanah Setempat

Jenis Butiran	Ukuran Partikel (mm)	Kandungan (%)
Kerikil	$\geq 4,76$	1,86
Pasir		
-Kasar	$\geq 2,00$	55,17
-Sedang	$\geq 0,425$	
-Halus	$\geq 0,075$	
Lanau	$\geq 0,0055$	30,69
Lempung	$\geq 0,0001$	12,57

4.1.2 pH

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Nilai pH mencerminkan kelarutan ion hidrogen dalam sampel serta menggambarkan tingkat keasaman sampel. pH tanah sangat berpengaruh terhadap aktivitas penyebaran logam dalam tanah. Tabel 4.2 berikut merupakan nilai pH sampel

Tabel 4.2 Nilai pH Sampel

Sampel	pH
TTPA	6,58
TTPTA	7,3
Tanah Kontrol	6,74

Ketiga sampel yang digunakan menunjukkan pH yang netral, yaitu 6,58 - 7,3. Hal ini menunjukkan bahwa sampel tidak memiliki kemampuan untuk melarutkan logam berat.

4.1.3 Kadar Air

Kadar air adalah persentase kandungan air suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah atau berat kering. Kadar air diperlukan pada saat mengukur total konsentrasi dalam kondisi basah. Kadar air juga dapat digunakan untuk mengetahui banyaknya kandungan air dalam sampel. Hal ini dapat mengurangi penambahan air pada proses S/S. Tabel 4.3 berikut merupakan tabel kadar air sampel.

Tabel 4.3 Kadar Air Sampel

Sampel	Kadar Air (%)
TTPA 30	28,41
TTPA 60	34,41
TTPA 90	32,18
TTPTA 30	27,43
TTPTA 60	27,79
TTPTA 90	28,85
Tanah Kontrol	19,16

Keterangan:

TTPA n : *Tailing* yang ditimbun pada kedalaman n cm di tempat penimbunan yang penambangan emasnya masih aktif beroperasi.

TTPTA n : *Tailing* yang ditimbun pada kedalaman n cm di tempat penimbunan yang penambangan emasnya sudah tidak aktif beroperasi.

Sampel mengandung kadar air yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh *sampling* dilakukan pada saat musim hujan. Kadar air tertinggi terkandung di sampel TTPA kedalaman 60 cm sebesar 34,41%. Kadar air terendah terdapat pada sampel tanah kontrol sebesar 19,16%. Hal ini disebabkan oleh tanah kontrol tidak mengandung *tailing* yang *slurry*.

4.1.4 Total Konsentrasi

Karakterisasi awal total konsentrasi ialah untuk mengetahui total konsentrasi yang terkandung dalam sampel sebelum

dilakukan penelitian. Total konsentrasi yang diketahui adalah total konsentrasi merkuri pada setiap kedalaman. Total konsentrasi lain yang diketahui adalah total konsentrasi logam berat pada sampel yang dikompositkan. Tabel 4.4 berikut merupakan total konsentrasi merkuri sampel.

Tabel 4.4 Total Konsentrasi Merkuri

Sampel	Total Konsentrasi (mg/kg)
TTPA 30	318
TTPA 60	182
TTPA 90	160
TTPTA 30	97
TTPTA 60	99
TTPTA 90	94
Tanah Kontrol	0,079

Berdasarkan PP No.101 Tahun 2014, total konsentrasi merkuri maksimum yaitu TK-B sebesar 75 mg/kg. Dengan demikian, total konsentrasi merkuri sampel tersebut melebihi baku mutu. Total konsentrasi tertinggi ialah sampel TTPA pada kedalaman 30 cm sebesar 318 mg/kg. Hal ini disebabkan oleh pada TPA yang masih beroperasi dan masih menerima beban *tailing*. Total konsentrasi terendah adalah sampel TTPTA pada kedalaman 90 cm sebesar 94 mg/kg. TTPTA memiliki total konsentrasi merkuri yang lebih kecil karena merkuri yang berada dalam timbunan mungkin saja sudah menguap atau terdegradasi di tanah. Total konsentrasi merkuri tanah kontrol masih memenuhi baku mutu. Tanah kontrol tidak mengandung *tailing* penambangan emas. Tabel 4.5 berikut merupakan tabel total konsentrasi logam berat lainnya.

Tabel 4.5 Total Konsentrasi Logam Berat

Parameter	Total Konsentrasi	Baku Mutu
Ni (mg/kg)	10,05	3000

Parameter	Total Konsentrasi	Baku Mutu
Pb (%)	0,23	1500
Cd (mg/kg)	8.6	100
Cr (mg/kg)	3,57	500
As (mg/kg)	2	500

Sampel *tailing* yang dikompositkan mengandung logam berat lain dengan total konsentrasi yang masih memenuhi baku mutu sesuai PP No.101 Tahun 2014. Oleh karena itu, kandungan logam berat masih dalam batas aman apabila ditimbun di *landfill*. Logam berat yang terkandung dalam *tailing* berasal dari kandungan mineral yang mungkin terkandung di tanah atau di dalam bijih emas.

4.1.5 Karakteristik Fly Ash

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* yang berasal dari PLTU Paiton. *Fly ash* berwarna coklat tua dan berbentuk butiran yang sangat halus. Kandungan yang dimiliki *fly ash* ialah SiO_2 (34%-60%), Al_2O_3 (15%-30%), dan CaO (2%-14%). *Fly ash* PLTU Paiton diklasifikasikan dalam tipe *fly ash F* karena memiliki kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$. Warna *fly ash* disebabkan oleh jenis batu bara yang digunakan. Gambar 4.2 berikut merupakan *fly ash* PLTU Paiton yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4.2 Fly Ash PLTU Paiton

4.2 Penentuan Komposisi Optimum Timbunan *Tailing* dan *Fly Ash* untuk Teknik S/S

Komposisi optimum ditentukan dari hasil nilai kuat tekan dan nilai TCLP. Kuat tekan yang sesuai adalah kuat tekan yang memenuhi baku mutu menurut Keputusan Kepala Bapedal Tahun 1995, yaitu sebesar 10 ton/m². Selain itu, nilai TCLP yang sesuai adalah nilai TCLP yang memenuhi baku mutu menurut PP No.101 Tahun 2014, yaitu sebesar 0,05 mg/L. Komposisi optimum dari teknik S/S ini adalah komposisi yang memiliki nilai kuat tekan dan nilai uji TCLP memenuhi baku mutu dan menggunakan bahan aditif yaitu *fly ash* yang lebih sedikit. Hal ini untuk memaksimalkan pengaplikasian komposisi yang digunakan untuk S/S.

4.2.1 Uji Konsistensi Normal

Konsistensi normal adalah banyaknya air yang ditambahkan ke dalam pasta campuran *tailing* dan *fly ash* dengan alat uji vicat selama 30 detik. Tujuan dari uji konsistensi ini untuk mengetahui jumlah air yang perlu ditambahkan ke dalam campuran pasta. Air yang ditambahkan sedikit demi sedikit akan terjadi penetrasi hingga batang vicat sedalam 10 mm. Hasil yang didapatkan dari hasil uji konsistensi dapat dilihat di Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Nilai Uji Konsistensi

Komposisi	FA : TTPA			FA : TTPTA			FA : TK		
	m (g)		V (ml)	m (g)		V (ml)	m (g)		V (ml)
	FA	TTPA		FA	TTPTA		FA	TK	
(100:0)	300	0	152	300	0	152	300	0	152
(90:10)	270	30	146	270	30	147	270	30	147
(80:20)	240	60	143	240	60	143	240	60	140
(70:30)	210	90	139	210	90	140	210	90	138
(60:40)	180	120	136	180	120	137	180	120	137
(50:50)	150	150	135	150	150	136	150	150	137
(40:60)	120	180	130	120	180	132	120	180	133
(30:70)	90	210	130	90	210	127	90	210	129

Komposisi	FA : TTPA			FA : TTPTA			FA : TK		
	m (g)		V (ml)	m (g)		V (ml)	m (g)		V (ml)
	FA	TTPA		FA	TTPTA		FA	TK	
(20:80)	60	240	129	60	240	124	60	240	129
(10:90)	30	270	118	30	270	110	30	270	138
(0:100)	0	300	80	0	300	90	0	300	125

Keterangan:

FA:TTPA = *Fly ash* : *Tailing* Tempat Penimbunan Aktif

FA:TTPTA = *Fly ash* : *Tailing* Tempat Penimbunan Tidak Aktif

FA:TK = *Fly ash* : Tanah Kontrol

Berdasarkan tabel berikut, semakin banyak jumlah *fly ash* yang digunakan, maka jumlah air yang ditambahkan juga semakin banyak. Hal ini disebabkan oleh *fly ash* memiliki bentuk yang sangat halus. Semakin halus bahan yang ditambahkan, maka membutuhkan banyak air untuk bereaksi. Jumlah air yang ditambahkan dapat sama pada komposisi yang berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh suhu ruangan yang cukup tinggi sehingga air yang ditambahkan cepat menguap. Menurut Gunaedi (2013), semakin banyak penambahan *fly ash* maka semakin banyak air yang ditambahkan. Menurut Rommel (2014), *fly ash* memiliki kemampuan menyerap air yang banyak karena memiliki struktur *amorf*. Tidak ada perbedaan yang besar volume air yang ditambahkan antara TTPA, TTPTA, dan tanah kontrol. Hal ini disebabkan karena *tailing* ini juga banyak tercampur oleh tanah pada saat *sampling*. Pengukuran uji konsistensi dapat dilihat pada Gambar 4.3 yang merupakan alat vicat untuk pengukuran konsistensi normal.

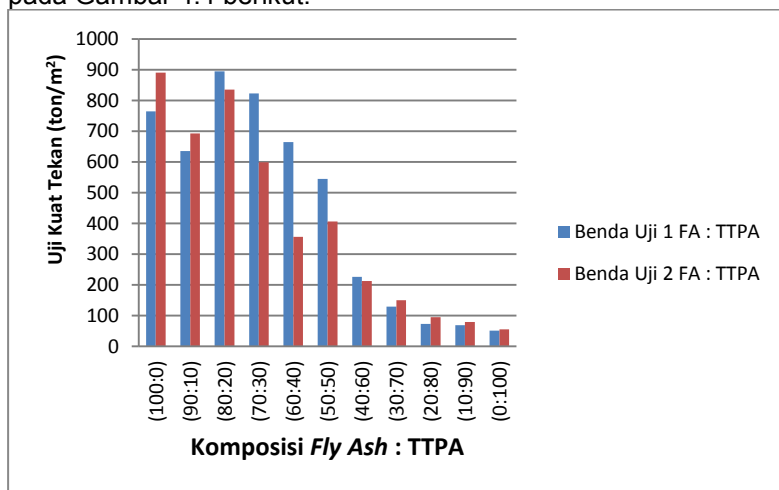


Gambar 4.3 Pengukuran Uji Konsistensi dengan Alat Vicat

Hasil volume air pada uji konsistensi normal digunakan untuk pembuatan benda uji. Setelah benda uji dibuat, dilakukan perawatan benda uji atau *curing*. Metode *curing* yang digunakan adalah *moisture curing*. Pada proses *curing*, kain dikondisikan selalu dalam keadaan lembap. *Moisture curing* bertujuan untuk menjaga kelembapan dan memperlambat laju penguapan benda uji. Reaksi pozzolanik akan terjadi karena proses hidrasi akibat dari pengikatan bahan pozzolan. Proses hidrasi menyebabkan suhu dari benda uji meningkat dan terjadi penguapan. Apabila penguapan terjadi cepat, kandungan air di dalam benda uji berkurang sehingga kematangan dan kualitas benda uji juga akan berkurang.

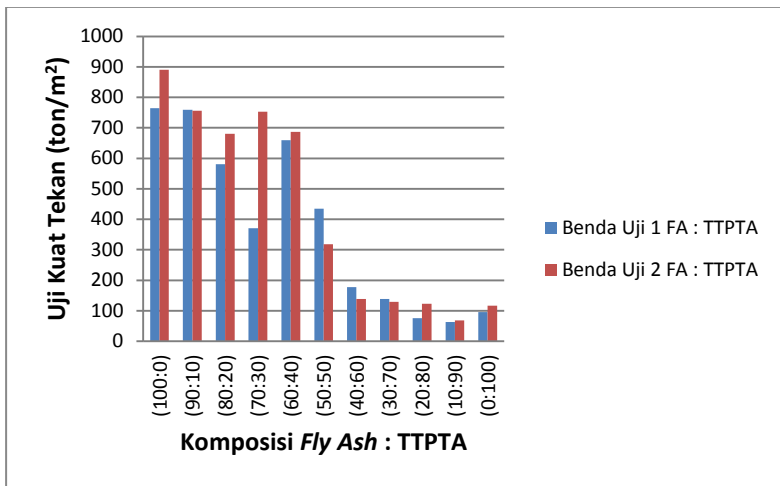
4.2.2 Uji Kuat Tekan

Benda uji hasil S/S kemudian dilakukan uji kuat tekan. Uji kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas. Uji kuat tekan menggunakan alat bernama *Toorse Universal Testing Machine*. Berdasarkan Keputusan Kepala Bapedal No.3 Tahun 1995 tentang Persyaratan Teknik Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya Beracun, baku mutu nilai uji kuat tekan sebesar 10 ton/m². Hasil uji kuat tekan benda uji *fly ash* : TTPA dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Hasil Uji Kuat Tekan *Fly Ash* : TTPA

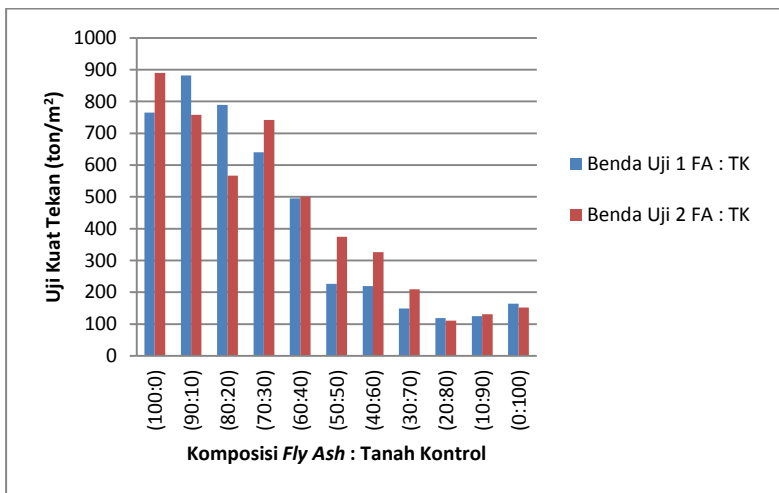
Gambar 4.6 berikut merupakan grafik hasil uji kuat tekan *fly ash* : TTPTA. Hasil kuat tekan menunjukkan hasil kuat tekan tertinggi pada komposisi 894,16 ton/m² pada komposisi 80:20. Grafik juga menunjukkan semakin banyaknya penambahan *fly ash* akan meningkatkan hasil kuat tekan. Komposisi 100: 0 ke komposisi 90:10 terjadi penurunan kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh adanya kondisi optimal dari ikatan kapur dan silika oksida. Perbedaan kuat tekan dari benda satu dan benda dua yang signifikan disebabkan oleh pencampuran bahan komposisi yang tidak homogen. Oleh karena itu, dimungkinkan terdapat penggumpalan partikel dari *fly ash* atau *tailing* pada saat pencetakan. Hasil kuat tekan juga dipengaruhi oleh kurang optimalnya proses *curing* atau suhu ruang pada saat pembuatan dan pencetakan benda uji. Gambar 4.5 berikut merupakan hasil uji kuat tekan *fly ash* : TTPTA.



Gambar 4.5 Hasil Uji Kuat Tekan *Fly Ash* : TTPTA

Gambar 4.5 berikut merupakan grafik hasil uji kuat tekan *fly ash* : TTPTA. Hasil kuat tekan tertinggi pada komposisi 100:0 sebesar 890 ton/m². Grafik ini menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan *fly ash*, maka hasil uji kuat tekan semakin meningkat. Pada komposisi 80:20 ke komposisi 70:30 mengalami

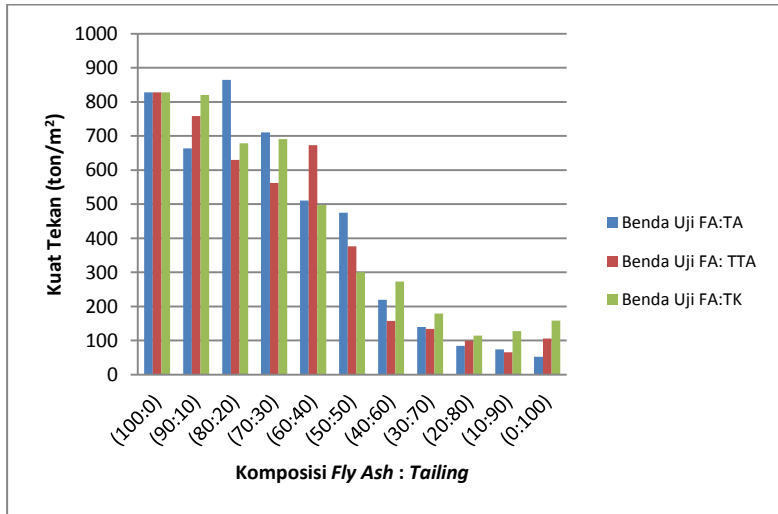
peningkatan kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh kondisi optimal ketika ikatan *fly ash* dan sampel bereaksi dengan baik. Perbedaan hasil kuat tekan benda satu dan benda dua yang signifikan pada komposisi yang sama dikarenakan pencampuran bahan dengan air yang kurang homogen. Oleh karena itu, dimungkinkan adanya penggumpalan yang tidak merata pada campuran *fly ash* dan *tailing*. Hasil uji kuat tekan juga dipengaruhi oleh proses *curing* yang kurang optimal atau suhu ruang yang tinggi pada saat pembuatan dan pencetakan benda uji. Gambar 4.6 berikut merupakan hasil uji kuat tekan *fly ash* : tanah kontrol.



Gambar 4.6 Hasil Uji Kuat Tekan *Fly Ash* : Tanah Kontrol

Gambar 4.6 berikut merupakan grafik hasil uji kuat tekan komposisi *fly ash* : tanah kontrol. Hasil kuat tekan tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak *fly ash* yang ditambahkan pada sampel tanah kontrol akan meningkatkan hasil uji kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh reaksi pozzolanik antara *fly ash* dan tanah kontrol bereaksi dengan baik. Perbedaan antara beberapa hasil uji kuat tekan benda satu dan benda dua dikarenakan pencampuran bahan dan air yang kurang homogen. Hal ini menyebabkan bahan dan air tidak tercampur secara

merata. Hal lain yang memengaruhi kuat tekan adalah pada saat *curing* serta suhu ruangan pada saat pembuatan dan pencetakan benda uji. Untuk mengetahui data perbandingan uji kuat tekan dari tiga variasi komposisi dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Perbandingan Hasil Uji Kuat Tekan

Ket:

FA : TTPA : Komposisi *Fly Ash* : TTPA

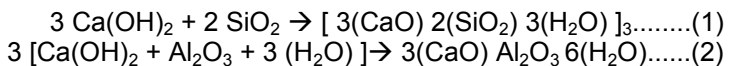
FA : TTPTA : Komposisi *Fly Ash* : TTPTA

FA : TK : Komposisi *Fly Ash* : Tanah Kontrol

Semua hasil uji kuat tekan memenuhi baku mutu sesuai Keputusan Kepala Bapedal No. 03 Tahun 1995, yaitu sebesar 10 ton/m². Perbandingan dari tiga variasi komposisi diketahui bahwa sangat berfluktuatif nilai kuat tekannya. Komposisi *fly ash* : TTPA memiliki kuat tekan tertinggi pada komposisi 80:20. Perbandingan dari tiga variasi tidak ada perbedaan yang signifikan karena sampel *tailing* yang diambil banyak tercampur dengan tanah setempat. Oleh karena itu, sifat dan kandungan dari *tailing* tidak berbeda jauh dengan tanah kontrol. Tanah setempat terdiri atas kerikil, pasir, lanau, dan lempung. Jenis tanah ini juga termasuk

bahan yang cocok digunakan untuk stabilisasi. Kandungan silikat, aluminium, dan kalsium yang terkandung pada tanah sangat baik dalam membantu proses S/S. Hasil uji kuat tekan tertinggi untuk TTPA pada komposisi *fly ash* : TTPA sebesar 894 ton/m². Hasil uji kuat tekan TTPA yang tertinggi pada komposisi *fly ash* 100% sebesar 890 ton/m².

Menurut Sebayang (2010), secara mekanik ukuran butiran *fly ash* yang lebih halus akan meningkatkan kerapatan benda uji. Grafik ini menunjukkan semakin banyaknya penambahan *fly ash* pada sampel akan meningkatkan uji kuat tekan. Hal ini dikarenakan terjadi reaksi pozzolan oleh *fly ash*. Menurut Maryoto (2008), peningkatan kualitas disebabkan kandungan unsur silikat dan aluminat pada *fly ash* yang reaktif bereaksi dengan kapur bebas pada saat hidrasi. Berikut adalah reaksi yang terjadi pada proses S/S.



Proses S/S terjadi karena terdapat hidrasi yang membentuk struktur kristalin dari kalsium aluminosilikat (Trihadiningrum, 2000). Menurut Priadana (2012), komposisi *fly ash* ialah terdiri atas SiO₂ (34%-60%), Al₂O₃ (15%-30%), dan CaO (2%-14%). Menurut Rommel (2014), kandungan Ca yang rendah pada *fly ash* dapat memperlambat proses hidrasi dengan pozzolan. *Fly ash* yang semakin banyak ditambahkan akan memperpanjang lama proses hidrasi. Proses hidrasi yang semakin lama dapat meningkatkan kematangan benda uji dan dapat meningkatkan kualitas dari beton tersebut. Aluminium dan besi melengkapi reaksi hidrasi dalam bahan pozzolan. Peran Al dengan silika oksida dapat meningkatkan kecepatan pengerasan awal pada beton. Salah satu syarat pozzolan yang baik ialah harus memiliki kandungan silikat yang dominan. Kandungan silikat di *fly ash* lebih banyak dibandingkan dengan semen. Hal ini yang menyebabkan *fly ash* dapat dijadikan sebagai pengganti semen. Struktur silika yang amorf yang dapat mempercepat reaktivitas ikatan reaksi *fly ash*. Struktur amorf yang memiliki struktur yang tidak stabil sehingga mudah melakukan ikatan.

Menurut Gunaedi (2013), *fly ash* sebagai *filler* dapat mengisi rongga-rongga pada campuran benda uji sehingga benda uji menjadi lebih padat dan kuat. Hasil kuat tekan meningkat pada kondisi tertentu karena terdapat kondisi optimal dari ikatan kapur dan silika oksida. Kapur bebas dilepaskan 20% dari hidrasi dan 80% sisanya akan bereaksi dengan *fly ash*. Hal ini menyebabkan 80% *fly ash* yang ditambahkan akan bereaksi oleh kapur bebas yang tidak terhidrasi. Terjadinya fluktuasi nilai uji kuat tekan disebabkan oleh pada saat pencetakan kurang sempurna dan kurang padat, sehingga adanya rongga di benda uji. Pengadukan bahan dan air yang kurang sempurna dan homogen juga dapat memengaruhi hasil uji kuat tekan. Hal ini akan menyebabkan penggumpalan bahan yang tidak merata. Rongga pada benda uji tersebut yang akan menghasilkan keretakan pada benda uji pada saat *curing*. *Curing* yang kurang optimal juga dapat menyebabkan keretakan pada benda uji. Keretakan tersebut yang mempengaruhi pada saat pengujian kuat tekan.

4.2.3 Uji TCLP

Uji TCLP bertujuan untuk mengetahui tingkat pelindian dari limbah B3. Uji TCLP dilakukan sesuai dengan US EPA Method 1311 yang dilampirkan pada Lampiran A. Benda uji yang sudah diuji kuat tekan kemudian dihancurkan dengan mortar sampai halus. Sampel yang sudah halus kemudian dilakukan pengukuran pH. Apabila pH <5, maka sampel diekstraksi dengan larutan ekstraksi 1. Larutan ekstraksi 1 adalah campuran antara larutan CH_3COOH 5,7 ml dan larutan NaOH 1N 64,3 ml dalam 500 ml aquades. Jika pH >5, ditambahkan HCl 1N 3,5 ml, apabila pH <5 sampel diekstraksi dengan larutan ekstraksi 1 dan pH >5 diekstraksi dengan larutan 2. Larutan 2 adalah larutan CH_3COOH sebanyak 5,7 ml dalam 500 ml aquades. Saat awal pengukuran pH diketahui bahwa seluruh benda uji memiliki pH >5. Selanjutnya, setelah ditambahkan HCl 1 N, benda uji memiliki pH <5. Oleh karena itu, semua sampel menggunakan larutan ekstraksi 1 untuk uji TCLP ini. Hasil pengukuran pH tersebut dapat dilihat semua sampel memiliki pH <5. Jadi, larutan ekstraksi yang digunakan adalah larutan ekstraksi 1.

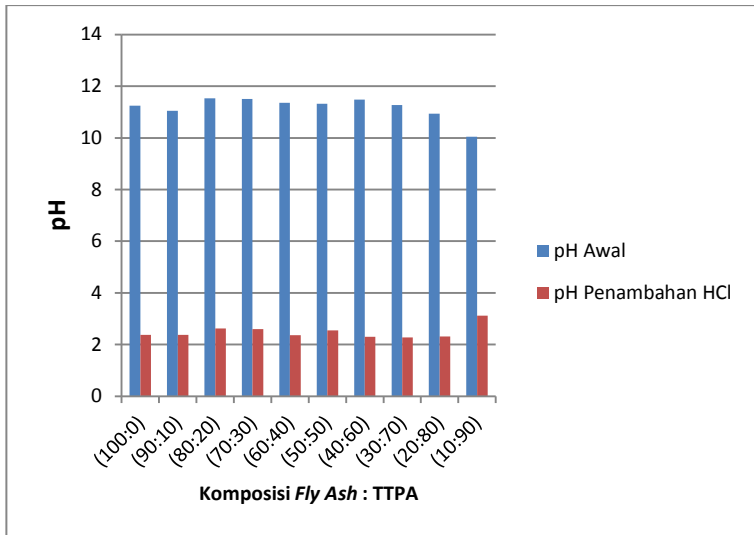
Sampel yang sudah dicampur dengan larutan ekstraksi kemudian diagitasi dengan *Rotary Agitator*. Sampel diagitasi dengan kecepatan 30 ± 2 rpm selama 18 ± 2 jam. Setelah itu, dilakukan penyaringan menggunakan *vacuum pump* dan kertas saring Whatman Gf/F. Penyaringan sampel bertujuan untuk menyaring larutan dan endapan dari sampel. Larutan yang dihasilkan berwarna bening. Gambar 4.8 berikut merupakan gambar larutan hasil penyaringan.



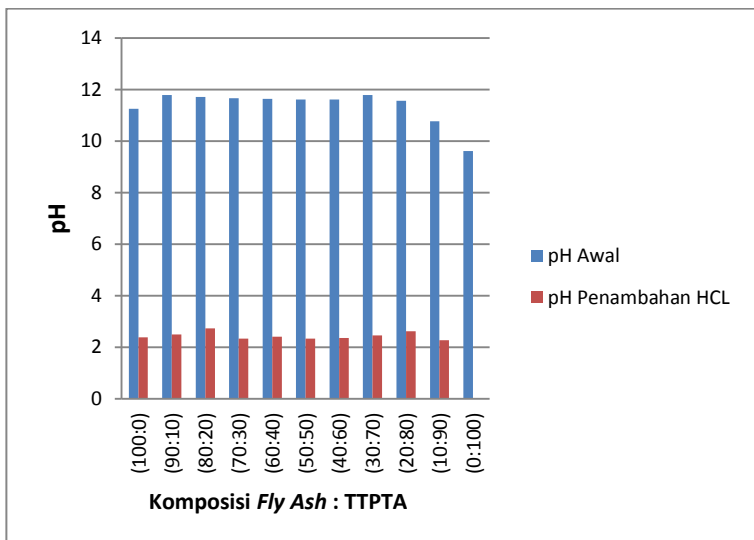
Gambar 4.8 Larutan TCLP Setelah Penyaringan

Larutan hasil TCLP ini yang akan diujikan kadar merkurnya. Sebelum larutan bening diujikan, dilakukan pengukuran pH terlebih dahulu. Gambar 4.9 berikut merupakan grafik perubahan pH sampel TTPA dan penentuan larutan ekstraksi yang akan digunakan pada Gambar 4.9.

Hasil pengukuran pH menunjukkan pH benda uji bersifat basa sekitar 10 - 11,24. Hal ini disebabkan oleh reaksi pozzolan yang mengakibatkan benda uji menjadi basa. Penambahan HCl dilakukan karena $\text{pH} > 5$ sesuai prosedur TCLP. Setelah penambahan HCl tersebut, sampel menjadi bersifat asam dengan pH sekitar 2,3 - 3,1. Nilai pH tersebut digunakan untuk penentuan larutan ekstraksi yang digunakan. Larutan ekstraksi yang digunakan adalah larutan ekstraksi 1. Gambar 4.10 berikut merupakan grafik perubahan pH sampel TTPTA dan penentuan larutan ekstraksi yang akan digunakan pada Gambar 4.10. Grafik nilai pH tersebut menunjukkan bahwa benda uji bersifat basa dengan pH sekitar 10,77 - 11,79.

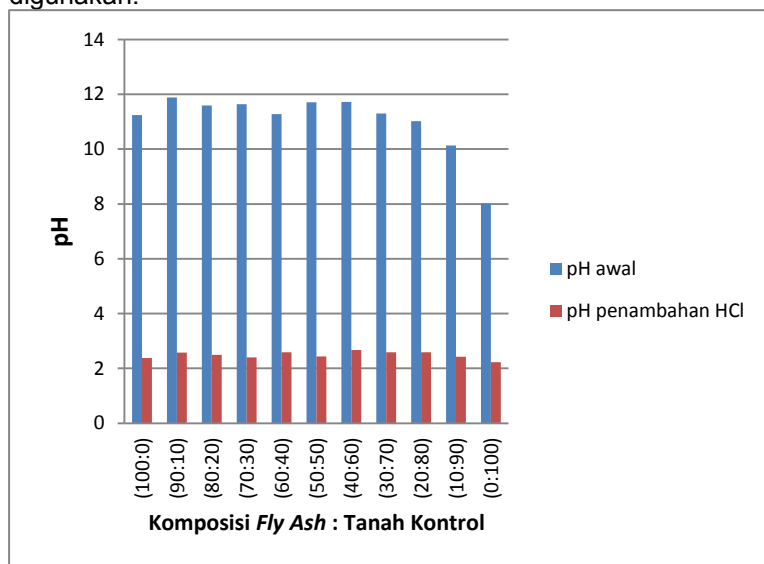


Gambar 4.9 Data pH Sampel Benda Uji Fly Ash : TTPA



Gambar 4.10 Data pH Sampel Benda Uji Fly Ash : TTPTA

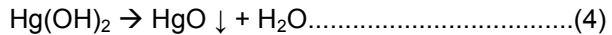
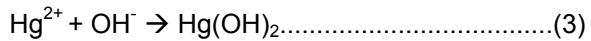
Hal ini disebabkan oleh adanya reaksi pozzolan yang terjadi pada benda uji ini. Sampel ditambahkan HCl karena memiliki pH > 5 sesuai dengan prosedur TCLP. Penambahan HCl mengakibatkan pH menjadi turun drastis, yaitu sekitar 2,2 – 2,7. Nilai pH tersebut dijadikan penentuan penggunaan larutan ekstraksi. Larutan ekstraksi yang digunakan adalah larutan ekstraksi 1. Gambar 4.11 adalah grafik perubahan pH sampel tanah kontrol dan penentuan larutan ekstraksi yang akan digunakan.



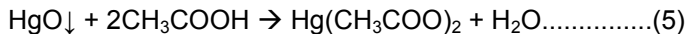
Gambar 4.11 Data pH TCLP Benda Uji Fly Ash : Tanah Kontrol

Grafik nilai pH menunjukkan bahwa benda uji bersifat basa. Nilai pH sampel sekitar 10,14 – 11,7. Hal ini disebabkan oleh adanya reaksi pozzolan pada benda uji. Sesuai prosedur TCLP, pH > 5 ditambahkan HCl. Penambahan HCl ini membuat benda uji menjadi bersifat asam. Nilai pH setelah penambahan HCl sebesar 2,3 – 2,6. Nilai pH ini akan dijadikan acuan dalam penentuan larutan ekstraksi yang digunakan. Larutan ekstraksi yang digunakan adalah larutan ekstraksi 1.

Reaksi yang mengikat Hg di proses S/S salah satunya adalah proses pengendapan (LaGrega *et al.*, 1994). Reaksi yang terjadi akibat dapat dilihat sebagai berikut

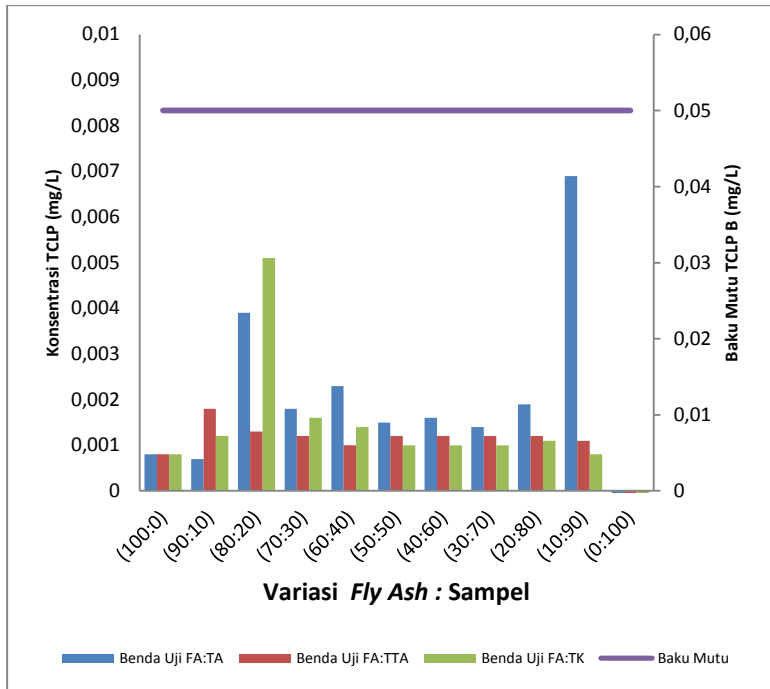


Benda uji S/S yang diekstrak pada uji TCLP menggunakan CH_3COOH untuk mengetahui adanya Hg yang mungkin dapat larut dalam asam. Reaksi yang resipitat Hg dapat ditulis sebagai berikut:



Pada silika, aluminat, dan kalsium terjadi reaksi pozzolan. Menurut Hagemann (2009), bahan akan bertahan pada kondisi pH 4-12 pada saat TCLP. Kelarutan silika dan alum yang ada di *fly ash* dan lempung dapat meningkatkan pH sehingga dapat bereaksi dengan membentuk reaksi hidrasi semen. pH sangat berpengaruh terhadap aktivitas penyebaran logam. Pada pH asam, konsentrasi logam berat lebih mudah terlarut dalam tanah. Kondisi yang asam juga mudah membuat benda uji menjadi korosi sehingga benda uji menurun kualitasnya. Hal ini disebabkan oleh sifat logam berat yang tahan pada kondisi yang netral atau basa. Pada kondisi asam, logam berat di tanah juga lebih mudah bereaksi dengan unsur-unsur lain yang ada di tanah.

Kadar merkuri dilakukan di Laboratorium Balai Riset Standardisasi Industri dan Perdagangan Surabaya. Pengujian kadar merkuri menggunakan AAS. Hasil uji TCLP dibandingkan dengan baku mutu TCLP-B berdasarkan PP No.101 Tahun 2014. Baku mutu TCLP-B sebesar 0,05 mg/L. Gambar 4.12 berikut merupakan hasil uji TCLP dari benda uji S/S.



Gambar 4.12 Hasil Uji TCLP Benda Uji

Ket:

FA : TA : Komposisi *Fly Ash* : TTPA

FA : TTA : Komposisi *Fly Ash* : TTPTA

FA : TK : Komposisi *Fly Ash* : Tanah Kontrol

Grafik hasil uji TCLP dapat dilihat besar pelindian merkuri berfluktuatif. Namun, dapat dilihat bahwa dari semua komposisi tersebut sangat jauh memenuhi baku mutu, yaitu < 0,05 mg/L. Kadar merkuri yang tertinggi ialah pada benda uji *fly ash* : TTPA 10 : 90 sebesar 0,0069 mg/L. Hal ini disebabkan oleh tingginya kadar merkuri yang terkandung dalam TTPA lebih tinggi dibandingkan dengan TTPTA dan tanah kontrol. Pada komposisi *fly ash* : TTPA 80 : 20 dan komposisi *fly ash* : tanah kontrol 80 : 20 terjadi kenaikan hasil uji kadar merkuri. Hal ini dapat disebabkan

oleh adanya ketidaktepatan dalam pembuatan larutan ekstraksi atau ada pembacaan yang *error* pada alat uji.

Menurut Sperce (2008), merkuri elemental tidak larut dalam larutan basa atau netral. Sementara itu, menurut Riogilang dan Masloman (2009), *tailing* hasil penambangan emas umumnya mengandung mineral inert seperti kuarsa, kalsit, dan berbagai aluminosilikat. Mineral tersebut yang berperan pada proses S/S ini. Kualitas produk S/S menjadi lebih baik karena penambahan kandungan mineral yang terkandung di *tailing* tersebut. Bahan *fly ash* pun sudah mengandung silika dan aluminat yang tinggi. Hal tersebut dapat mengoptimalkan proses S/S.

Tailing yang digunakan juga tercampur tanah dari lokasi *sampling*. Kandungan dari tanah tersebut mengandung kerikil, pasir, lanau, dan lempung. Kandungan mineral yang terkandung dalam lempung, yaitu kalsium, silika, dan aluminium. Selain *tailing* di S/S dengan *fly ash*, *tailing* juga bereaksi dengan kandungan dari tanah tersebut. Menurut Sudirja (2008), *fly ash* dapat juga digunakan sebagai *stabilizing agents* karena apabila dicampur dengan tanah, akan terjadi reaksi pozzolanik. Menurut Banunaek (2016), tanah sekitar penambangan emas rakyat Kulon Progo memiliki permeabilitas sebesar $1,03 \times 10^{-12}$ cm/detik sampai dengan $7,32 \times 10^{-13}$ cm/detik. Menurut PP No.101 Tahun 2014, permeabilitas yang disyaratkan untuk penimbunan limbah B3 memiliki nilai 10^{-7} cm/detik. Hal ini pula yang menyebabkan merkuri terstabilisasi dan tersolidifikasi dengan baik sehingga tidak mudah melindi.

Faktor lain yang memengaruhi hasil kadar merkuri dari TCLP adalah alat uji merkuri, yaitu AAS. AAS menggunakan prinsip absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom dari sampel akan menyerap sebagian sinar yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Penyerapan energi oleh atom ini terjadi pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan energi yang dibutuhkan atom tersebut. Salah satu gangguan yang mungkin terjadi pada AAS ini adalah gangguan dari sumber cahaya. Berkas sinar yang dipancarkan oleh lampu katoda tidak terserap dengan baik, dan menyimpang, serta bukan atom yang terserap oleh sinar melainkan molekul. Hal-hal tersebut yang mungkin akan mengakibatkan pembacaan kadar dari sebuah unsur menjadi

error. Pembacaan kadar merkuri yang mendekati deteksi limit sehingga kurang teliti pembacaannya. Deteksi limit adalah batasan pengukuran terendah satu alat. Deteksi limit dari alat AAS ini untuk merkuri sebesar 0,0005 mg/L. Sifat merkuri yang sangat mudah menguap juga dimungkinkan akan mengakibatkan kegagalan dalam pembentukan atom-atom yang seharusnya tertangkap oleh sinar pada katode.

Semua komposisi yang memenuhi baku mutu uji kuat tekan dan uji TCLP. Tanah setempat yang tercampur di *tailing* bisa dijadikan sebagai bahan stabilisasi. Nilai uji kuat tekan TTPA sebesar 53 ton/m² dan nilai uji kuat tekan TTPTA sebesar 107 ton/m². Tanah setempat sudah mampu digunakan sebagai bahan S/S *tailing*. Hal ini disebabkan oleh tanah setempat bersifat lanau dan lempung yang sangat baik dijadikan bahan tambahan S/S. *Tailing* perlu dilakukan *pretreatment* terlebih dahulu, seperti adanya pengeringan dan perawatan pada saat S/S. Nilai uji kuat tekan TTPA sebesar 53 ton/m² dan nilai uji kuat tekan TTPTA sebesar 107 ton/m². Namun, penambahan *fly ash* dapat meningkatkan kualitas produk S/S. *Fly ash* yang memiliki sifat kedap air dan tahan terhadap korosi mampu menjaga produk S/S lebih tahan lama.

Penimbunan *tailing* tetap harus sesuai ketentuan Keputusan Kepala Bappedal No.1 Tahun 1995 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis dan Penyimpanan dan Pengumpulan Limbah B3. Apabila *tailing* ditimbun di tempat yang terbuka, penguapan yang menghasilkan uap merkuri yang berbahaya akan terjadi. Selain itu, apabila *tailing* tetap ditimbun di galian tanah setempat akan mengakibatkan pelindian merkuri ke badan air. Sifat lempung tanah setempat tidak dapat langsung membuat sifat fisik *tailing* menjadi aman untuk ditimbun di tanah setempat. Produksi amalgamasi yang besar akan menghasilkan *tailing* yang besar sehingga tanah setempat tidak mampu menahan beban konsentrasi merkuri yang besar. Oleh karena itu, sistem penimbunan *tailing* perlu dikelola dengan baik.

LAMPIRAN A

I. Prosedur Sampling *Tailing*

Metode *sampling* yang digunakan yakni pengambilan *tailing* dengan kedalaman tertentu. Alat dan bahan yang diperlukan pada kegiatan sampling antara lain:

- Alat

1. Sekop
2. Cangkul
3. Galon PET
4. Kertas label
5. Timbangan
6. Sarung tangan
7. Masker
8. Meteran

- Bahan

Timbunan *tailing* di lokasi tambang emas rakyat, Kulon Progo, Yogyakarta

Adapun prosedur sampling tanah yang dilakukan sebagai berikut:

- a. Menentukan batas area sampling pada lokasi yang telah ditetapkan.
- b. Menentukan titik-titik pengambilan sampel.
- c. Menggunakan sarung tangan, masker, dan sepatu untuk memulai pengambilan contoh sampel.
- d. Mengukur kedalaman kolam dengan meteran
- e. Mengambil sampel menggunakan cangkul dan sekop pada 30 cm kedalaman, 6 cm kedalaman, dan 90 cm kedalaman.
- f. Memasukkan sampel *tailing* yang telah didapat ke dalam galon PET dan diberikan label.
- g. Melakukan teknik sampling serupa untuk titik yang lain. Perlu diperhatikan dalam memulai kegiatan sampling pada titik yang

baru, alat sampling yang digunakan dibersihkan terlebih dahulu untuk meminimalisasi terjadinya kontaminasi.

II. Uji kadar air

Prosedur uji kadar air adalah sebagai berikut:

Prosedur uji kadar air adalah sebagai berikut:

1. Sampel dimasukkan ke dalam Loyang secukupnya.
2. Loyang berisi sampel dimasukkan ke dalam oven pada suhu 50 C
3. Loyang berisi sampel yang telah didinginkan ditimbang menggunakan neraca analitik.
4. Perhitungan kadar air dalam sampel menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat kering} = \frac{W_t - W}{W} \times 100\%$$

Keterangan:

W_t = berat basah atau berat sebelum dioven (g)

W = berat kering atau berat sesudah dioven (g)

III. Prosedur Uji Kuat Tekan

Prosedur uji kuat tekan berdasarkan SNI 03-1974-1990 sebagai berikut:

1. Letakkan benda uji pada mesin tekan secara sentries.
2. Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm² .detik.
3. Lakukan pembebanan sampai uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji
4. Gambar bentuk pecah dan catatlah keadaan benda uji.

IV. Prosedur Uji TCLP

Prosedur uji TCLP yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan pada *standard method* 1311 dari US EPA sebagai berikut ini :

A. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk melakukan uji TCLP dari tanah yang tercemar logam berat merkuri adalah sebagai berikut ini :

1. Proses Agitasi : Alat agitasi harus mampu untuk melakukan proses agitasi dengan kecepatan 30 ± 2 rpm.
2. Alat Ekstraksi : Ekstraksi dapat dilakukan pada botol ekstraksi berbahan *borosilicate* atau *polytetrafluoroethylene*.
3. Peralatan Filtrasi : Untuk melaksanakan proses filtrasi dibutuhkan beberapa peralatan di bawah ini :
 - *Filter Holder* : *Filter holder* setidaknya memiliki volume 300 mL dan dapat digunakan untuk menyangga filter dengan ukuran minimum 47 mm.
 - *Filter* : Filter harus terbuat dari kaca fiber borosilikat, tidak mengandung material binder serta memiliki ukuran pori efektif 0,6 – 0,8 mm.
 - *pH Meter* : pH meter harus memiliki tingkat akurasi sebesar $\pm 0,05$ unit pada suhu 25°C.
4. Neraca analitik
5. Gelas beaker atau labu erlenmeyer ukuran 500 mL
6. *Magnetic stirrer*

B. Pembuatan Larutan Ekstraksi 1

Prosedur pembuatan untuk larutan ekstraksi 1 adalah sebagai berikut ini :

1. Tambahkan 5,7 mL asam asetat glacial ke dalam 500 mL aquades
2. Tambahkan 64,3 mL NaOH 1 N
4. Uji nilai pH dan pastikan nilai pH berkisar $4,93 \pm 0,05$.

C. Pembuatan Larutan Ekstraksi 2

1. Encerkan 5,7 mL asam asetat glacial dengan menggunakan aquades hingga volume larutan mencapai 1 L
2. Ukur nilai pH dan pastikan nilai pH berkisar $2,88 \pm 0,05$.

D. Preliminary Evaluation

1. Masukkan 5 gram sampel ke dalam Beaker Glass atau Erlenmeyer 500 ml
2. Tambahkan 96,5 ml aquades dan tutup dengan rapat
3. Aduk selama 5 menit dengan *magnetic stirrer*
4. Cek pH menggunakan pH meter

5. Apabila $\text{pH} < 5$ maka menggunakan larutan ekstraksi 1
Apabila $\text{pH} > 5$ maka tambahkanlah HCl 1 N kemudian aduk rata dengan rapat. Kemudian panaskan pada suhu 50°C selama 10 menit. Dinginkan dan cek pH kembali
6. Apabila $\text{pH} < 5$ maka menggunakan larutan ekstraksi 1
Apabila $\text{pH} > 5$ maka menggunakan larutan ekstraksi 2

E. Rotasi dan Agitasi

Berikut merupakan prosedur untuk pelaksanaan proses agitasi cairan hasil ekstraksi :

1. Masukkan sampel ke dalam botol berbahan *polyethylene*
2. Lakukan proses rotasi dengan kecepatan 30 ± 2 rpm selama 18 ± 2 jam pada suhu $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$
3. Sampel disaring dengan *borosilicate* $0,8 \mu\text{m}$ dengan *vacuum pump*.
4. Filtrat dianalisis menggunakan AAS

V. Uji Konsistensi Normal

Prosedur uji konsistensi normal berdasarkan ASTM C-187 adalah

- a. Siapkan benda uji campuran semen Portland dengan berat masing-masing benda uji 300 gram.
- b. Siapkan aquades dan tuangkan dalam mangkuk pengaduk diikuti dengan campuran pasta secara perlahan-lahan sebanyak 300 gram.
- c. Pasang mangkuk pada mixer pasta dan biarkan kedua bahan tercampur selama ± 30 detik dengan kecepatan pengadukan 140 ± 5 putaran per menit.
- d. Hentikan pengadukan selama 15 detik, sementara itu bersihkan pasta yang menempel pada dinding mangkuk pengaduk.
- e. Aduk kembali pasta selama 60 detik dengan kecepatan pengaduk 285 ± 10 putaran per menit.
- f. Matikan mixer pasta kemudian buatlah bola dari pasta menggunakan tangan. Lemparkan pasta dari tangan kiri ke tangan kanan dan sebaliknya dengan jarak lemparan 15 cm sebanyak 6 kali.

- g. Pegang bola pasta yang terbentuk di salah satu tangan sedangkan tangan satunya lagi memegang cetakan benda uji konsistensi. Melalui lubang dasar, masukkan bola pasta ke dalam cetakan sampai terisi penuh dan ratakan kelebihan pasta pada dasar cincin dengan sekali gerakan telapak tangan.
- h. Letakkan dasar cincin pada pelat kaca, ratakan permukaan atas pasta dengan sekali gerakan sendok perata dalam posisi miring dan haluskan dengan ujung sendok perata tanpa memberikan tekanan pada pasta.
- i. Letakkan cetakan yang telah terisi pasta pada alat vicat lalu sentuhkan ujung batang vicat pada bagian tengah permukaan pasta dan kencangkan posisi batang vicat.
- j. Letakkan pembacaan skala pada nol atau catat angka permulaan dan segera lepaskan batang vicat sehingga dengan bebas batang dapat menembus permukaan pasta. Catat pembacaan skala setelah 30 detik. Nilai konsistensi normal yang digunakan sebagai acuan kebutuhan air adalah pada nilai penetrasi 10 mm. Seluruh pekerjaan uji konsistensi normal ini harus selesai dalam waktu 60 detik setelah pengadukan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B

A. Perhitungan Kadar Air Sampel TTPA

Perhitungan kadar air sampel TTPA dihitung berdasarkan kedalaman sampling. Berikut adalah perhitungan kadar air sampel TTPA:

1. TTPA

a. TTPA kedalaman 30 cm

Berat Basah : 17,18 g

Berat Kering : 12,30 g

$$\begin{aligned}\text{Kadar air} &= \frac{17,18-12,30}{12,30} \times 100\% \\ &= 28,40\%\end{aligned}$$

b. TTPA kedalaman 60 cm

Berat Basah : 17,35 g

Berat Kering : 11,38 g

$$\begin{aligned}\text{Kadar air} &= \frac{17,35-11,38}{11,38} \times 100\% \\ &= 34,41\%\end{aligned}$$

c. TTPA kedalaman 90 cm

Berat Basah : 15,88 g

Berat Kering : 10,77 g

$$\begin{aligned}\text{Kadar air} &= \frac{15,88-10,77}{10,77} \times 100\% \\ &= 32,18\%\end{aligned}$$

2. TTPTA

a. TTPTA kedalaman 30 cm

Berat Basah : 16,95 g

Berat Kering : 12,31 g

$$\begin{aligned}\text{Kadar air} &= \frac{16,95-12,30}{12,30} \times 100\% \\ &= 27,43 \%\end{aligned}$$

b. TTPTA kedalaman 60 cm

Berat Basah : 17,92 g

Berat Kering : 12,94 g

$$\begin{aligned}\text{Kadar air} &= \frac{17,92-12,94}{12,94} \times 100\% \\ &= 27,79\%\end{aligned}$$

c. TTPTA kedalaman 90 cm

Berat Basah : 16,36 g

Berat Kering : 11,64 g

$$\begin{aligned}\text{Kadar air} &= \frac{16,36-11,64}{11,64} \times 100\% \\ &= 28,85\%\end{aligned}$$

3. Tanah Kontrol

Berat Basah : 22,29 g

Berat Kering : 18,02 g

$$\begin{aligned}\text{Kadar air} &= \frac{22,29-18,02}{18,02} \times 100\% \\ &= 19,16 \%\end{aligned}$$

B. Hasil Uji Kuat Tekan

Tabel 1. Hasil Uji Kuat Tekan *Fly Ash* : TTPA

Benda Uji FA:TTPA	Uji Kuat Tekan (ton/m ²)		Nilai Rata-Rata Uji Kuat Tekan (ton/m ²)
	I	II	
(100:0)	764,79	890,34	828
(90:10)	634,77	692,13	663
(80:20)	894,16	834,89	865
(70:30)	822,78	598,45	711
(60:40)	664,73	356,26	510
(50:50)	544,91	405,98	475
(40:60)	225,61	212,87	219
(30:70)	129,38	149,77	140
(20:80)	73,29	94,96	84
(10:90)	68,83	79,03	74
(0:100)	51,00	55,00	53

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan *Fly Ash* : TTPTA

Benda Uji FA : TTPTA	Uji Kuat Tekan (ton/m ²)		Nilai Rata-Rata Uji Kuat Tekan (ton/m ²)
	I	II	
(100:0)	765	890	828
(90:10)	760	757	758
(80:20)	581	680	630
(70:30)	371	753	562
(60:40)	659	687	673
(50:50)	435	318	376
(40:60)	177	139	158

Benda Uji FA : TTPTA	Uji Kuat Tekan (ton/m ²)		Nilai Rata-Rata Uji Kuat Tekan (ton/m ²)
	I	II	
(30:70)	139	129	134
(20:80)	76	123	99
(10:90)	64	68	66
(0:100)	96	117	107

Tabel 3. Hasil Uji Kuat Tekan *Fly Ash* : Tanah Kontrol

Benda Uji	Uji Kuat Tekan (ton/m ²)		Nilai Rata-Rata Uji Kuat Tekan (ton/m ²)
	I	II	
(100:0)	765	890	828
(90:10)	760	757	758
(80:20)	581	680	630
(70:30)	371	753	562
(60:40)	659	687	673
(50:50)	435	318	376
(40:60)	177	139	158
(30:70)	139	129	134
(20:80)	76	123	99
(10:90)	64	68	66
(0:100)	96	117	107

C. Hasil Pengukuran pH Larutan

Tabel 1. Data pH Sampel Benda Uji *Fly Ash* : TTPA

Komposisi FA:TTPA	Benda Uji	pH					
		Awal	Rata- rata	Tambah HCl	Rata- rata	Setelah Agitasi	Rata- rata
(100:0)	1	11,39	11,245	2,21	2,375	10,75	10,8
	2	11,1		2,54		10,85	
(90:10)	1	11,29	11,045	2,36	2,38	10,45	10,1
	2	10,8		2,4		9,79	
(80:20)	1	11,5	11,525	2,66	2,625	10,07	10,3
	2	11,55		2,59		10,55	
(70:30)	1	11,54	11,5	2,29	2,595	10,4	9,95
	2	11,46		2,9		9,49	
(60:40)	1	11,28	11,355	2,34	2,365	8,1	8,65
	2	11,43		2,39		9,19	
(50:50)	1	11,27	11,315	2,47	2,545	7,49	8,3
	2	11,36		2,62		9,11	
(40:60)	1	11,63	11,485	2,24	2,295	9,8	8,33
	2	11,34		2,35		6,85	
(30:70)	1	11,35	11,275	2,24	2,275	7,52	7,25
	2	11,2		2,31		6,98	
(20:80)	1	11,6	10,935	2,34	2,31	6,89	6,86
	2	10,27		2,28		6,82	
(10:90)	1	10,43	10,04	3,99	3,115	6,48	6,41
	2	9,65		2,24		6,34	

Tabel 2. Data pH Sampel Benda Uji *Fly Ash* : TTPTA

Komposisi FA:TTA	Benda Uji	pH					
		Awal	Rata- rata	Tambah HCl	Rata- rata	Setelah Agitasi	Rata- rata
(100:0)	1	11,39	11,25	2,21	2,375	10,75	10,8
	2	11,1		2,54		10,85	
(90:10)	1	11,98	11,79	2,31	2,495	9,87	10,1
	2	11,6		2,68		10,36	
(80:20)	1	11,83	11,72	2,76	2,725	9,94	9,77
	2	11,6		2,69		9,6	
(70:30)	1	11,75	11,66	2,35	2,325	9,07	9,41
	2	11,56		2,3		9,75	
(60:40)	1	11,71	11,64	2,53	2,405	10,37	10,3
	2	11,57		2,28		10,25	
(50:50)	1	11,84	11,62	2,43	2,33	8,31	8,39
	2	11,39		2,23		8,46	
(40:60)	1	11,73	11,61	2,51	2,35	7,73	8,48
	2	11,49		2,19		9,22	
(30:70)	1	11,85	11,79	2,35	2,46	7,76	8,14
	2	11,72		2,57		8,51	
(20:80)	1	11,92	11,57	2,81	2,615	7,63	7,5
	2	11,21		2,42		7,37	
(10:90)	1	10,52	10,77	2,43	2,265	5,58	5,74
	2	11,01		2,1		5,9	

Tabel 3. Data pH Sampel Benda Uji *Fly Ash* : Tanah Kontrol

Komposisi FA:TK	Benda Uji	pH					
		Awal	Rata- rata	Tambah HCl	Rata- rata	Setelah Agitasi	Rata- rata
(100:0)	1	11,39	11,25	2,21	2,375	10,75	10,8
	2	11,1		2,54		10,85	
(90:10)	1	11,9	11,88	2,61	2,58	10,76	10,74
	2	11,86		2,55		10,71	
(80:20)	1	11,63	11,59	2,58	2,495	8,45	9,29
	2	11,54		2,41		10,13	
(70:30)	1	11,61	11,64	2,37	2,405	8,54	9,26
	2	11,67		2,44		9,98	
(60:40)	1	11,32	11,28	2,51	2,59	7,78	9,195
	2	11,23		2,67		10,61	
(50:50)	1	11,54	11,71	2,55	2,44	7,71	8,635
	2	11,87		2,33		9,56	
(40:60)	1	11,78	11,72	2,63	2,67	8,02	8,83
	2	11,65		2,71		9,64	
(30:70)	1	11,36	11,3	2,96	2,59	6,97	7,37
	2	11,23		2,22		7,77	
(20:80)	1	10,89	11,02	2,53	2,585	5,31	5,91
	2	11,15		2,64		6,51	
(10:90)	1	9,93	10,14	2,69	2,42	5,13	5,32
	2	10,34		2,15		5,51	

Tabel 4. Hasil Uji TCLP *Fly Ash* : TTPA

Benda Uji FA:TTPA	Konsentrasi Hg (mg/L)
(100:0)	0,0008
(90:10)	0,0007
(80:20)	0,0039
(70:30)	0,0018
(60:40)	0,0023
(50:50)	0,0015
(40:60)	0,0016
(30:70)	0,0014
(20:80)	0,0019
(10:90)	0,0069
(0:100)	-0,0006

Tabel 5. Hasil Uji TCLP *Fly Ash* : TTPTA

Benda Uji FA:TTPTA	Konsentrasi Hg (mg/L)
(100:0)	0,0008
(90:10)	0,0018
(80:20)	0,0013
(70:30)	0,0012
(60:40)	0,0010
(50:50)	0,0012
(40:60)	0,0012
(30:70)	0,0012
(20:80)	0,0012
(10:90)	0,0011
(0:100)	-0,0007

Tabel 6. Hasil Uji TCLP *Fly Ash* : Tanah Kontrol

Benda Uji FA:TK	Konsentrasi Hg (mg/L)
(100:0)	0,0008
(90:10)	0,0012
(80:20)	0,0051
(70:30)	0,0016
(60:40)	0,0014
(50:50)	0,0010
(40:60)	0,0010
(30:70)	0,0010
(20:80)	0,0011
(10:90)	0,0008
(0:100)	-0,0007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C



Pembuangan *Tailing* Merkuri



Peralatan Penambangan Emas



Tempat Penyimpanan Sampel



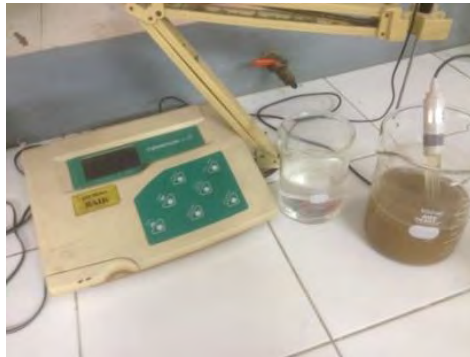
Penggilingan Sampel



Hasil Sampel yang Sudah digiling



Pengadukan Sampel



Pengukuran pH



Rotary Agitator



Larutan sebelum diagitasi



Larutan setelah diagitasi



Uji Kuat Tekan



Benda Uji setelah Uji Kuat Tekan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan.

1. Total konsentrasi TTPA yaitu 160-318 mg/kg dan TTPTA yaitu 94-99 mg/kg. Total konsentrasi merkuri pada *tailing* melebihi baku mutu menurut PP No.101 Tahun 2014 TK-B sebesar 75 mg/kg. Kadar air rata-rata sebesar 19,16%-34,41%. Nilai pH TTPA sebesar 6,58 & pH TTPTA sebesar 7,3. Tanah tempat penimbunan *tailing* berjenis lanau dan lempung.
2. Tanah setempat mampu melaukan S/S timbunan *tailing* dengan baik tanpa penggunaan *fly ash*, dimana hasil uji TCLP < 0,0005 mg/L dan hasil uji kuat tekan < 10 ton/m². Hasil uji TCLP semua benda uji S/S memenuhi baku mutu sesuai PP No.101 Tahun 2014 sebesar 0,05 mg/L. Nilai kuat tekan S/S TTPA sebesar 53 ton/m² dan nilai kuat tekan S/S TTPTA sebesar 107 ton/m². Nilai kuat tekan memenuhi baku mutu sesuai Keputusan Kepala Bappedal No.3 Tahun 1995 sebesar 10 ton/m².

5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lanjutan untuk mengetahui bentuk pengendapan merkuri di produk S/S. Hal ini untuk mengetahui bentuk merkuri yang dapat bereaksi dengan bahan stabilisasi.
2. Perlu adanya penelitian lanjutan untuk menegaskan adanya merkuri di *tailing* penambangan emas rakyat Kulon Progo.
3. Perlu adanya kajian untuk mengetahui kadar merkuri pada komponen lingkungan seperti air sumur, tanaman, dan udara ambien.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Arradhika, G.R. 2012. **Tinjauan Porositas dan Permeabilitas Beton dengan Slag dan Aktivator sebagai Pengganti Sebagian Semen**. Surakarta: Program Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. SNI 03-1974-1990. **Metode Pengujian Kuat Tekan Beton**.
- Badan Standar Nasional. 2002. SNI 03-2847-2002. **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton. Untuk Bangunan Gedung**.
- Badan Standar Nasional. 2011. SNI 2493-2011. **Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium**.
- Banunaek, Z.A. 2016. "Pencemaran Merkuri Di Lahan Pertambangan Emas Rakyat dan Upaya Pengendaliannya". **Tesis**. Program Magister Bidang Keahlian Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
- Damanhuri, E. 2010. **Diktat Kuliah TL-3204 Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)**. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.
- Dewi, N.R., Onny S., Suhartono. 2013. "Hubungan Riwayat Paparan Merkuri dengan Gangguan Keseimbangan Tubuh pada Penambang Emas Tradisional di Desa Jendi Kecamatan Selogiri Kabupaten Wonogiri". **Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia Vol 12 No.1/ April 2013**.
- Dunstan, E.R. Jr., P.E. 2011. "How Does Pozzolanic Reaction Make Concrete "Green"?". **World of Coal Ash (WOCA) Conference** – May 9-12, 2011 in Derriver, CO, USA.
- EPA. 2000. **Solidification/Stabilization Use at Superfund Site**.
- EPA. 2004. **Guidance on the Use of Solidification/Stabilization for the Treatment of Contaminated Soil**.

- Faisal, S. 2015. **Stabilisasi/Solidifikasi Tanah Tercemar Merkuri Menggunakan Semen Portland dan Fly Ash**. Surabaya : Program Sarjana Teknik Lingkungan ITS.
- Feng, X., dan Boyd C. 2011. " Evaluation of the Physical and Chemical Properties of Fly Ash Products for Use in Portland Cement Concrete." **World of Coal Ash (WOCA) Conference** – May 9-12, 2011 in Deriver, CO, USA.
- Gunaedi dan Irpan H., 2013. "Pengaruh *Fly Ash* pada Kuat Tekan Campuran Beton Menggunakan *Expanded Polystyrene* sebagai Substitusi Parsial Pasir". **Skripsi**. Program Teknik Sipil Binus *University*.
- Hardjito, D. 2001. **Abu Terbang Solusi Pencemaran Semen**, <URL:
<http://www.sinarharapan.co.id/berita/0110/29>>.
- Hagermann, S. 2009. "Technologies for The Stabilization of Elemental Mercury and Mercury-Contaminant Waste." **Final Report Gesellschaft für Anlagenund Reaktorsicherheit (GRS)**.
- Irawan, C., Januari J.E., Pujo A., dan Triwulan. 2012. "Prediksi Kuat Tekan Beton Berbahan Campuran Fly Ash dengan Perawatan Uap Menggunakan Metode Kematangan". **Jurnal Teknik ITS Vol. 1**, No.1 (Sept. 2012) ISSN: 2301-9271.
- Kalimantoro, T.T. 2016. "Stabilisasi/solidifikasi *Tailing* Tambang Emas Rakyat Kulon Progo Menggunakan Semen Portland dan Tanah Tras". **Skripsi**. Program Sarjana Teknik Lingkungan ITS.
- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 01 Tahun 1995. tentang **Tata Cara dan Persyaratan Teknis Penyimpanan dan Pengumpulan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan.
- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak No.03 Tahun 1995 tentang **Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan.
- LaGrega, M. D., Philip, L. B., Jeffrey C.E. 1994. **Hazardous Waste Management**. Mc Graw Hill.

- López, P.C., Velásquez, Macello M.V., Ken H. 2010. "Mercury Balance in Amalgamation in Atrisanal and Small-scale Gold Mining: Identfying Strategies for Reducing Environmental Pollution in Portovelo-Zaruma, Ecuador". **Journal of Cleaner Production** 18 (2010) 226-232.
- Mardiono. 2010. "Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) dalam Beton Mutu Tinggi". Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma Jakarta.
- Maryoto, A. 2008. "Pengaruh Penggunaan *High Volume Fly Ash* pada Kuat Tekan Mortar". **Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan No, 2** Volume 10 Halaman 103-114.
- Marzuki, P.F., dan Erlangga J. 2007. "Potensi Semen Alternatif dengan Bahan Dasar Kapur Padalarang dan Fly Ash Suralaya untuk Konstruksi Rumah Sederhana". **Seminar Nasional "Sustainability dalam Bidang Material, Rekayasa dan Konstruksi Beton"**.
- Munir, M. 2008. "Pemanfaatan Abu Batu Bara (Fly Ash) untuk Hollow Block yang Bermutu dan Aman Bagi Lingkungan". **Tesis**. Program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro Semarang.
- Palar, H., 1994. **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat**. Jakarta : Rineka Cipta.
- Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Jakarta: Sekretaris Negara Republik Indonesia.
- Pivets, E.B. EPA 2001. **Phytoremediation of Contaminated Hazardous Waste Site**. EPA Ground Water Issue.
- Priadana, K.A. 2012. "Karakterisasi Fly Ash Berdasarkan Sifat Fisik dan Kimia Jurusan Teknik Sipil". **Skripsi**. Program Sarjana Teknik Sipil ITS.
- Purnomo, S., dan Imam S. 2000. "Studi Pengolahan Limbah Cair Bahan Berbahaya dan Beracun". **Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VIII**. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN, Pusat Penelitian Ilmi Pengetahuan dan Teknologi Ristek.
- Purwani, J.2010. **Remediasi Tanah Dengan Menggunakan Tanaman Akumulator Logam Berat Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides* L.)**.

URL: <http://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/dokumen/prosidingsemnas2010/jati2.pdf>

- Purwantari, N.D. 2007. "Reklamasi Area Tailing di Pertambangan dengan Tanaman Pakan Ternak; Mungkinkah?". **WARTAZOA Vol. 17 No. 3 Th. 2007**. Balai Penelitian Ternak.
- Putranto, T.T. 2011. "Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) pada Air Tanah". **Jurnal Teknik Vol 32 No.1 Tahun 2011, ISSN 0852-1697**.
- Riogilang, H dan Halimah, M. 2009. "Pemanfaatan Limbah Tambang untuk Bahan Konstruksi Bangunan". **Ekoton Vol 9 No.1 : 69-73**. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH-SDA).
- Rommel, E., dan Yunan R. 2012. "Pemakaian Fly Ash sebagai Cementious pada Beton Mutu Tinggi dengan Steam Curing". **Media Teknik Sipil, Volume 10, Nomor 2, Agustus 2012: 128-136**.
- Sebayang, S. 2010. Pengaruh Kadar Abu Terbang sebagai Pengganti Sejumlah Semen pada Beton Alir Mutu Tinggi. **Jurnal Rekayasa Vol.14 No.1 April 2010**.
- Setiabudi, B.T. 2005. "Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Sangon, Kabupaten Kulon Progo, D.I Yogyakarta". **Kolokium Hasil Lapangan-DIM**.
- Shandro, J.A., Marcello M. V., Rebecca C. 2009. "Reducing mercury pollution from artisanal gold mining in Munhena, Mozambique". **Journal of Cleaner Production 17 (2009) 525-532**.
- Suarnita, I.W. 2011. "Kuat Tekan Beton dengan Aditif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli". **Jurnal SMARTek, 9, halaman 1-10**.
- Sudirja. 2008. "Pengaruh Penambahan Spent Catalyst pada Stabilisasi Tanah dan Semen". **Tesis**. Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro Semarang.
- Trihadiningrum, Y. 2000. **Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan beracun (B3)**. Surabaya: ITS Press.
- Utomo, M.P. 2008. "Efek Logam Berat Terhadap Sifat Semen Pada Proses Solidifikasi/Stabilisasi Limbah Berbahaya".

- Seminar Nasional Kimia, 25 Oktober 2008.** Jurusan Pendidikan Kimia UNY.
- Wang, J., et al. 2012. "Remediation of Mercury Contaminated sites – A Review". **Journal of Hazardous Materials** **221-222, p1-18.**
- Widodo. 2008. "Pengaruh Perlakuan Amalgamasi terhadap Tingkat Perolehan Emas dan Kehilangan Merkuri". **Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan Jilid 18 No.1 47-53.** UPT Loka Uji Teknik Penambangan Jampang Kulon-Lipi.
- Zhang, X.Y., Qi-C.W., Shao-Qing Z., Xiao-Jing S., ZhongSheng Z. 2009. "Stabilization/solidification (S/S) of MercuryContaminated Hazzardous Wastes Using Thiol-functionalized Zeolite and Portlan Cement".**Journal Hazardous Material.**

“ Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Wahyuni Dwi Susilowati dilahirkan di Jakarta pada 10 Juni 1994. Penulis memulai studi pada tahun 2000-2007 SD Pulogebang 05 Pagi. Penulis melanjutkan sekolah di SMP 236 Jakarta pada tahun 2007-2009. Pendidikan tingkat atas ditempuh pada tahun 2009-2012 di SMA 81 Jakarta. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP ITS Surabaya dengan NRP 331210082.

Selama perkuliahan penulis aktif di berbagai kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) FTSP-ITS. Penulis pernah menjabat sebagai Staff Pemetaan di Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMTL. Selain itu, penulis pernah menjabat sebagai Staff Networking di Departemen Hubungan Luar HMTL. Penulis memiliki pengalaman dunia kerja dengan melaksanakan kerja praktik di BPPT Serpong pada tahun 2015 dengan bidang pengolahan air limbah. Penulis dapat dihubungi via email wahyuni.ds@gmail.com.